

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-009004

(43)Date of publication of application : 11.01.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/205

H01L 33/00

H01S 5/223

H01S 5/343

(21)Application number : 2000-347669

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 15.11.2000

(72)Inventor : KIDOGUCHI ISAO
ISHIBASHI AKIHIKO
SUGAWARA TAKESHI
TSUJIMURA AYUMI
BAN YUZABURO
SUZUKI MASAKATSU
KUME MASAHIRO
MIYANAGA RYOKO
MORITA KIYOYUKI
HASEGAWA YOSHITERU

(30)Priority

Priority number : 11324010

Priority date : 15.11.1999

Priority country : JP

11367169

24.12.1999

11369834

27.12.1999

JP

2000018407

27.01.2000

2000025931

03.02.2000

JP

2000048824

25.02.2000

2000120760

21.04.2000

JP

2000120761

21.04.2000

JP

JP

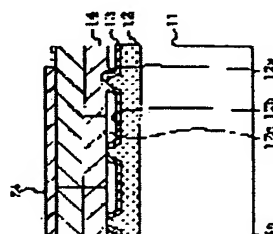
JP

JP

(54) METHOD OF MANUFACTURING NITRIDE SEMICONDUCTOR, NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE, METHOD OF MANUFACTURING THE SAME SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE AND ITS MANUFACTURING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve a nitride semiconductor formed through an ELOG method in crystallinity, to enable a resonator to have a large light confining coefficient, to form the resonator whose edge face is reduced in mirror loss, and to easily align a mask



for forming a ridge.

SOLUTION: A GaN seed layer 12 for ELOG is formed on a sapphire substrate 11 through the intermediary of a low-temperature GaN buffer layer, and stripe-shaped protuberant parts 12a extending in the plane direction of the substrate and separating from one another by a certain space are provided to the upper part of the GaN seed layer 12. In succession, a silicon nitride film 13 is formed on the bases and wall surfaces of recessed parts 12b each interposed between the protuberant parts 12a, and then a GaN selection growth layer 14 is formed above the seed layer 12, coming into contact with the protuberant parts 12a so as to form air gaps between its under surface and the bases of the recessed parts 12b.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 24.07.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3571641

[Date of registration] 02.07.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-9004

(P 2 0 0 2 - 9 0 0 4 A)

(43) 公開日 平成14年1月11日 (2002. 1. 11)

(51) Int. Cl. ⁷

識別記号

F I

テーマコード (参考)

H01L 21/205

H01L 21/205

5F041

33/00

33/00

C 5F045

H01S 5/223

H01S 5/223

5F073

5/343

5/343

審査請求 有 請求項の数111 O L (全45頁)

(21) 出願番号 特願2000-347669 (P 2000-347669)

(71) 出願人 000005821

(22) 出願日 平成12年11月15日 (2000. 11. 15)

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(31) 優先権主張番号 特願平11-324010

(72) 発明者 木戸口 勲

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社社内

(32) 優先日 平成11年11月15日 (1999. 11. 15)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(72) 発明者 石橋 明彦

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社社内

(31) 優先権主張番号 特願平11-367169

(32) 優先日 平成11年12月24日 (1999. 12. 24)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(74) 代理人 100077931

弁理士 前田 弘 (外7名)

(31) 優先権主張番号 特願平11-369834

(32) 優先日 平成11年12月27日 (1999. 12. 27)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

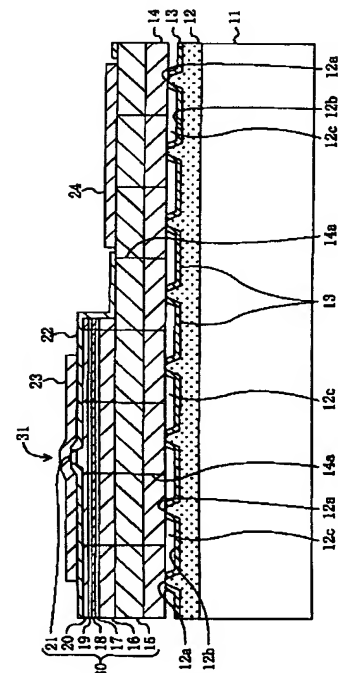
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体の製造方法、窒化物半導体素子の製造方法、窒化物半導体素子、半導体発光素子及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 ELOG法による結晶性の向上を図り、共振器への光の閉じ込め係数値を大きくできるようにし、また、ミラー損失が少ない共振器端面を形成できるようにし、導波損失が少ない共振器を形成できるようにし、リッジ部形成用のマスクの位置合わせを容易に行なえるようする。

【解決手段】 サファイアからなる基板11上に、Ga Nからなる低温バッファ層を介してELOG用のGa Nからなるシード層12を形成し、該シード層12の上部に基板面方向に互いに間隔をおいて延びるストライプ状の凸部12aを形成する。続いて、凸部12a同士に挟まれてなる各凹部12bの底面及び壁面上に窒化シリコンからなるマスク膜13を形成し、その後、シード層12の上に、各凸部12aと接するようにGa Nからなる選択成長層14をその下面と溝部12bの底面との間に空隙部12cが設けられるように形成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に、Al、Ga、In、N（但し、 u, v, w は、 $0 \leq u, v, w \leq 1$ 、 $u + v + w = 1$ である。）からなる第1の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する前記凸部同士に挟まれてなる凹部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上に、前記マスク膜から露出する前記各凸部の頂面であるC面を種結晶として、Al、Ga、In、N（但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ 、 $x + y + z = 1$ である。）からなる第2の窒化物半導体層を成長する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体の製造方法。

【請求項2】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項3】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項2に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項4】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化合物からなることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項5】 前記高融点金属又は高融点金属化合物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項4に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項6】 基板上に、Al、Ga、In、N（但し、 u, v, w は、 $0 \leq u, v, w \leq 1$ 、 $u + v + w = 1$ である。）からなる第1の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する前記凸部同士に挟まれてなる凹部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上に、前記各凸部における前記マスク膜から露出する領域を種結晶として、Al、Ga、In、N（但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ 、 $x + y + z = 1$ である。）からなる第2の窒化物半導体層を成長する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体の製造方法。

【請求項7】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項6に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項8】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化

ニオブであることを特徴とする請求項7に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項9】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化合物からなることを特徴とする請求項6に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項10】 前記高融点金属又は高融点金属化合物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項9に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項11】 基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、前記溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第1の窒化物半導体層の上面における前記各溝部同士の間に前記マスク膜から露出するC面を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、

前記積層体の上に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項12】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記第1の窒化物半導体層の上に、該第1の窒化物半導体層をストライプ状に覆うレジストマスクを形成し、形成したレジストマスクを用いて前記第1の窒化物半導体層に対してエッチングを行なう工程を含み、

前記マスク膜を形成する工程は、前記レジストマスクをリフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項11に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項13】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項11に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項14】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項13に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項15】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴プラズマを用いて形成することを特徴とする請求項13に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項16】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請求項13に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項17】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化合物であることを特徴とする請求項11に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 1 8】 前記高融点金属又は高融点金属化合物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 1 7 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 1 9】 基板上に第 1 の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、前記溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマ

スク膜を形成する工程と、
前記第 1 の窒化物半導体層の上における前記各溝部同士の間

に前記マスク膜から露出する領域を種結晶として、基板側から、第 2 の窒化物半導体層と、該第 2 の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第 3 の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第 4 の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、

前記積層体の上に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備えていることを

特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 2 0】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記第 1 の窒化物半導体層の上に、該第 1 の窒化物半導体層をストライプ状に覆うレジストマスクを形成し、形成したレジストマスクを用いて前記第 1 の窒化物半導体層に対してエッチングを行なう工程を含み、

前記マスク膜を形成する工程は、前記レジストマスクをリフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項 1 9 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 2 1】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項 1 9 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 2 2】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 2 1 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 2 3】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴プラズマを用いて形成することを特徴とする請求項 2 1 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 2 4】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請求項 2 1 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 2 5】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化合物からなることを特徴とする請求項 1 9 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 2 6】 前記高融点金属又は高融点金属化合物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 2 5 に記載の窒化物半

導体素子の製造方法。

【請求項 2 7】 基板の上部に、基板面方向に互いに並行して延びる複数の凸部を形成する工程と、

前記基板の上の前記各凸部の頂面に、 $Al_xGa_yIn_zN$ (但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ 、 $x + y + z = 1$ である。) からなる窒化物半導体層を選択的に成長する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体の製造方法。

【請求項 2 8】 前記基板は窒化物半導体からなり、前記凸部を形成する工程と前記窒化物半導体層を成長する工程との間に、

互いに隣接する前記凸部同士に挟まれてなる凹部の底面を覆う、誘電体、高融点金属又は高融点金属化合物からなるマスク膜を形成する工程をさらに備えていることを特徴とする請求項 2 7 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 2 9】 基板の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、

前記基板の上面における前記各溝部同士の間領域上に、基板側から選択的に、第 1 の窒化物半導体層と、該第 1 の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第 2 の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第 3 の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、

前記積層体の上に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 3 0】 前記積層体を成長する工程は、前記各溝部の底面及び壁面と、前記積層体における前記溝部の対向面とにより囲まれてなる複数の空隙部を形成する工程を含むことを特徴とする請求項 2 9 に記載の半導体素子の製造方法。

【請求項 3 1】 前記積層体を成長する工程は、前記積層体を前記基板上にバッファ層を介在させることなく成長させることを特徴とする請求項 2 9 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 3 2】 基板上に順次形成され、第 1 の窒化物半導体層、該第 1 の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第 2 の窒化物半導体層からなる活性層及び該活性層よりも光の屈折率が小さい第 3 の窒化物半導体層とを含む積層体と、

前記積層体の上に形成され、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部とを備え、前記活性層における前記電流狭窄部の下方で且つ前記活性層と前記基板との間の領域に空隙部が形成されていることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 3 3】 前記空隙部の上には、前記第 1 の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つ第 4 の窒化物半導体層が形成されていることを特徴とする請求項 3 2 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 3 4】 基板上に形成され、上部に互いに間隔

において基板面方向に延びる複数の凸部を有する第 1 の窒化物半導体層と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上に、下面が前記各凸部の頂面と接するように形成された第 2 の窒化物半導体層と、

前記第 2 の窒化物半導体層の上に形成され、第 3 の窒化物半導体層、該第 3 の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第 4 の窒化物半導体層からなる活性層及び該活性層よりも光の屈折率が小さい第 5 の窒化物半導体層とを含む積層体とを備え、

前記第 2 の窒化物半導体層は、前記第 3 の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つことを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 3 5】 前記凸部同士の間形成され、前記第 2 の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さい屈折率を持つ低屈折率領域を有していることを特徴とする請求項 3 4 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 3 6】 前記低屈折率領域は空隙部であることを特徴とする請求項 3 5 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 3 7】 前記第 2 の窒化物半導体層と前記第 3 の窒化物半導体層との間に形成され、前記第 2 の窒化物半導体層又は前記第 3 の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さい又は同等の屈折率を持つ超格子構造を有し、上面が電極と接触する第 6 の窒化物半導体層をさらに備えていることを特徴とする請求項 3 4 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 3 8】 前記第 2 の窒化物半導体層は組成にアルミニウムを含んでおり、

それぞれが、前記第 1 の窒化物半導体層と前記第 2 の窒化物半導体層との間に前記各凸部の頂面とその近傍とのみ覆うように形成され、アルミニウムの組成が前記第 2 の窒化物半導体層のアルミニウムの組成よりも小さい複数の第 6 の窒化物半導体層をさらに備えていることを特徴とする請求項 3 4 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 3 9】 基板上に第 1 の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、

前記溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上面における前記各溝部同士の間前記マスク膜から露出する C 面を種結晶として、基板側から、第 2 の窒化物半導体層と、第 3 の窒化物半導体層と、該第 3 の窒化物半導体層よりも光の屈折

率が大きい第 4 の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりも光の屈折率が小さい第 5 の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、

前記積層体の上に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備え、

前記積層体を成長する工程は、前記第 2 の窒化物半導体層を、その光の屈折率が前記第 3 の窒化物半導体層の光

の屈折率よりも小さいか又は同等となるように成長する工程を含むことを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 4 0】 前記積層体を成長する工程は、前記第 2 の窒化物半導体層の組成がアルミニウムを含む場合に、

前記第 1 の窒化物半導体層と前記第 2 の窒化物半導体層との間に、アルミニウムの組成が前記第 2 の窒化物半導体層のアルミニウムの組成よりも小さい複数の第 6 の窒化物半導体層を前記凸部の頂面とその近傍のみを覆うように形成する工程を含むことを特徴とする請求項 3 9 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 4 1】 前記積層体を成長する工程は、前記第 2 の窒化物半導体層と前記第 3 の窒化物半導体層との間に、前記第 2 の窒化物半導体層又は前記第 3 の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つ超格子構造を有する第 6 の窒化物半導体層を形成する工程を含むことを特徴とする請求項 3 9 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 4 2】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記第 1 の窒化物半導体層の上に、該第 1 の窒化物半導体層をストライプ状に覆うレジストマスクを形成し、形成したレジストマスクを用いて前記第 1 の窒化物半導体層に対してエッチングを行なう工程を含み、前記マスク膜を形成する工程は、前記レジストマスクをリフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項 3 9 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 4 3】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項 3 9 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 4 4】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 4 3 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 4 5】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴プラズマを用いて形成することを特徴とする請求項 4 3 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 4 6】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請求項 4 3 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 4 7】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化合物からなることを特徴とする請求項 3 9 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 4 8】 前記高融点金属又は高融点金属化合物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 4 7 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 4 9】 基板上に第 1 の窒化物半導体層を形成

する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、
前記溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上における前記各溝部同士の間、前記マスク膜から露出する領域を種結晶として、基板側から、第 2 の窒化物半導体層と、第 3 の窒化物半導体層と、該第 3 の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第 4 の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりも光の屈折率が小さい第 5 の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、

前記積層体の上に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備え、

前記積層体を成長する工程は、前記第 2 の窒化物半導体層を、その光の屈折率が前記第 3 の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等となるように成長する工程を含むことを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 50】 前記積層体を成長する工程は、前記第 2 の窒化物半導体層の組成がアルミニウムを含む場合に、

前記第 1 の窒化物半導体層と前記第 2 の窒化物半導体層との間に、アルミニウムの組成が前記第 2 の窒化物半導体層のアルミニウムの組成よりも小さい複数の第 6 の窒化物半導体層を前記凸部の頂面とその近傍のみとを覆うように形成する工程を含むことを特徴とする請求項 49 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 51】 前記積層体を成長する工程は、前記第 2 の窒化物半導体層と前記第 3 の窒化物半導体層との間に、前記第 2 の窒化物半導体層又は前記第 3 の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つ超格子構造を有する第 6 の窒化物半導体層を形成する工程を含むことを特徴とする請求項 49 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 52】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記第 1 の窒化物半導体層の上に、該第 1 の窒化物半導体層をストライプ状に覆うレジストマスクを形成し、形成したレジストマスクを用いて前記第 1 の窒化物半導体層に対してエッチングを行なう工程を含み、

前記マスク膜を形成する工程は、前記レジストマスクをリフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項 49 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 53】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項 49 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 54】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 53 に記載の窒

化物半導体素子の製造方法。

【請求項 55】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴プラズマを用いて形成することを特徴とする請求項 53 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 56】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請求項 53 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 57】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化合物からなることを特徴とする請求項 49 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 58】 前記高融点金属又は高融点金属化合物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 57 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 59】 基板上に、Al、Ga、In、N（但し、u、v、wは、 $0 \leq u, v, w \leq 1$ 、 $u + v + w = 1$ である。）からなる第 1 の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する前記凸部同士に挟まれてなる凹部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上に、前記マスク膜から露出する前記各凸部の頂面であるC面を種結晶として、Al、Ga、In、N（但し、x、y、zは、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ 、 $x + y + z = 1$ である。）からなる複数の第 2 の窒化物半導体層を成長する工程とを備え、

前記複数の第 2 の窒化物半導体層を形成する工程は、前記各第 2 の窒化物半導体層を、各第 2 の窒化物半導体層が前記複数の凸部のうちの所定数の凸部を跨ぐごとに、前記凸部が延びる方向と平行な側端面が露出するように形成する工程を含むことを特徴とする窒化物半導体の製造方法。

【請求項 60】 前記側端面はA面又はM面であることを特徴とする請求項 59 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 61】 前記複数の凸部を形成する工程は、前記複数の凸部の形成周期を、前記側端面が露出する領域が前記側端面が露出しない領域と比べて大きくなるように形成することを特徴とする請求項 59 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 62】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項 59 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 63】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 62 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 6 4】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化合物からなることを特徴とする請求項 5 9 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 6 5】 前記高融点金属又は高融点金属化合物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 6 4 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 6 6】 基板上に、 Al 、 Ga 、 In 、 N （但し、 u 、 v 、 w は、 $0 \leq u$ 、 v 、 $w \leq 1$ 、 $u+v+w=1$ である。）からなる第 1 の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する前記凸部同士に挟まれてなる凹部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上に、前記各凸部における前記マスク膜から露出する領域を種結晶として、 Al 、 Ga 、 In 、 N （但し、 x 、 y 、 z は、 $0 \leq x$ 、 y 、 $z \leq 1$ 、 $x+y+z=1$ である。）からなる複数の第 2 の窒化物半導体層を成長する工程とを備え、

前記複数の第 2 の窒化物半導体層を形成する工程は、前記各第 2 の窒化物半導体層を、各第 2 の窒化物半導体層が前記複数の凸部のうちの所定数の凸部を跨ぐごとに、前記凸部が延びる方向と平行な側端面が露出するように形成する工程を含むことを特徴とする窒化物半導体の製造方法。

【請求項 6 7】 前記側端面は A 面又は M 面であることを特徴とする請求項 6 6 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 6 8】 前記複数の凸部を形成する工程は、前記複数の凸部の形成周期を、前記側端面が露出する領域が前記側端面が露出しない領域と比べて大きくなるように形成することを特徴とする請求項 6 6 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 6 9】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項 6 6 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 7 0】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 6 9 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 7 1】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化合物からなることを特徴とする請求項 6 6 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 7 2】 前記高融点金属又は高融点金属化合物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイ

ドであることを特徴とする請求項 7 1 に記載の窒化物半導体の製造方法。

【請求項 7 3】 基板上に第 1 の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、

前記溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上面における前記各溝部同士の間前に前記マスク膜から露出する C 面を種結晶とし

て、基板側から、それぞれが、第 2 の窒化物半導体層と、該第 2 の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第 3 の窒化物半導体層からなる活性層と、該活

性層よりもエネルギーギャップが大きい第 4 の窒化物半導体層とを含むように複数の積層体を成長する工程と、

前記各積層体の上に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部をそれぞれ形成する工程とを備え、

前記複数の積層体を成長する工程は、前記各積層体を、該積層体が前記第 1 の窒化物半導体層の前記 C 面を所定

数だけ跨ぐごとに前記電流狭窄部からなる共振器端面が露出するように形成する工程を含むことを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 7 4】 前記共振器端面は A 面又は M 面であることを特徴とする請求項 7 3 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 7 5】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記複数の溝部の形成周期を、前記共振器端面が露出する領域が、前記共振器端面が露出しない領域と比べて大きくなるように設定することを特徴とする請求項 7 3 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 7 6】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項 7 3 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 7 7】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 7 6 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 7 8】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化合物からなることを特徴とする請求項 7 3 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 7 9】 前記高融点金属又は高融点金属化合物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 7 8 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 8 0】 基板上に第 1 の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、

前記溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマ

10

20

30

40

50

スク膜を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上における前記各溝部同士の間、前記マスク膜から露出する領域を種結晶として、基板側から、それぞれが、第 2 の窒化物半導体層と、該第 2 の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第 3 の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第 4 の窒化物半導体層とを含むように複数の積層体を成長する工程と、前記各積層体の上に、前記活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部をそれぞれ形成する工程とを備え、前記複数の積層体を成長する工程は、前記各積層体を、該積層体が前記第 1 の窒化物半導体層の隣接する溝部同士の間、前記共振器端面が露出するように形成する工程を含むことを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 8 1】 前記共振器端面は A 面又は M 面であることを特徴とする請求項 8 0 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 8 2】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記複数の溝部の形成周期を、前記共振器端面が露出する領域が、前記共振器端面が露出しない領域と比べて大きくするように設定することを特徴とする請求項 8 0 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 8 3】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項 8 0 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 8 4】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 8 3 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 8 5】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化合物からなることを特徴とする請求項 8 0 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 8 6】 前記高融点金属又は高融点金属化合物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 8 5 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 8 7】 基板上に形成され、上部に互いに間隔をおいて基板面方向に延びる複数の凸部を有する第 1 の窒化物半導体層と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上で且つ前記各凸部同士の側面の間に空隙部を持つように形成された第 2 の窒化物半導体層と、

前記第 2 の窒化物半導体層の上に形成され、キャリアが狭窄されて注入されるストライプ状の共振器を含む第 3 の窒化物半導体層とを備え、

前記共振器は、生成光の共振方向が前記凸部が延びる方向とほぼ直交するように設けられていることを特徴とす

る窒化物半導体素子。

【請求項 8 8】 前記共振器の端面は、前記第 3 の窒化物半導体層の A 面であることを特徴とする請求項 8 7 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 8 9】 前記第 2 の窒化物半導体層と前記第 3 の窒化物半導体層との間に形成され、上部に互いに間隔をおいて基板面方向に延び且つその頂面の位置が前記第 1 の窒化物半導体層の凸部の頂面の位置と基板面方向に異なる複数の凸部を有する第 4 の窒化物半導体層をさらに備えていることを特徴とする請求項 8 7 に記載の窒化物半導体素子。

【請求項 9 0】 基板上に形成され、上部に互いに間隔をおいて基板面方向に延びる複数の凸部を有する第 1 の窒化物半導体層と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上で且つ前記各凸部同士の側面の間に空隙部を持つように形成された第 2 の窒化物半導体層と、

前記第 2 の窒化物半導体層の上に形成され、活性層を含む第 3 の窒化物半導体層とを備え、

前記凸部の頂面は C 面であり、

前記第 1 の窒化物半導体層の C 軸と前記第 2 の窒化物半導体層の C 軸とがなす角度は、約 0.05 度以下であることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 9 1】 基板上に第 1 の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上部に、互いに間隔をおいて基板面方向の一方向に延びる複数の第 1 の溝部を形成する工程と、

前記第 1 の溝部の底面を覆う第 1 のマスク膜を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上面における前記各第 1 の溝部同士の間、前記第 1 のマスク膜から露出する C 面を種結晶として、第 2 の窒化物半導体層を成長する工程と、

前記第 2 の窒化物半導体層の上部に、互いに間隔をおいて前記一方向に延び且つ互いに隣接する溝部同士の間、前記第 1 の溝部同士の間、前記領域の位置と基板面方向に異なる複数の第 2 の溝部を形成する工程と、

前記第 2 の溝部の底面を覆う第 2 のマスク膜を形成する工程と、

前記第 2 の窒化物半導体層の上面における前記各第 2 の溝部同士の間、前記第 2 のマスク膜から露出する C 面を種結晶として、活性層を含む第 3 の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第 3 の窒化物半導体層の上に、生成光の共振方向が前記一方向とほぼ直交するように電流狭窄部を形成する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 9 2】 基板上に第 1 の窒化物半導体層を形成

する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上部に、互いに間隔をおいて基板面方向の一の方向に延びる複数の第 1 の溝部を形成する工程と、

前記第 1 の溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆う第 1 のマスク膜を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上における前記各第 1 の溝部同士の間前記第 1 のマスク膜から露出する領域を種結晶として、第 2 の窒化物半導体層を成長する工程と、
前記第 2 の窒化物半導体層の上部に、互いに間隔をおいて前記一の方向に延び且つ互いに隣接する溝部同士の間の領域の位置が前記第 1 の溝部同士の間の領域の位置と基板面方向に異なる複数の第 2 の溝部を形成する工程と、

前記第 2 の溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆う第 2 のマスク膜を形成する工程と、

前記第 2 の窒化物半導体層の上における前記各第 2 の溝部同士の間前記第 2 のマスク膜から露出する領域を種結晶として、活性層を含む第 3 の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第 3 の窒化物半導体層の上に、生成光の共振方向が前記一の方向とほぼ直交するように電流狭窄部を形成する工程とを備えていることを特徴とする窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 9 3】 基板上に形成され、上部に間隔をおいて基板面方向に延びる複数の第 1 の凸部を有する第 1 の半導体層と、

前記第 1 の半導体層の上に前記第 1 の凸部と接するように形成され、上部に前記第 1 の凸部が延びる方向と同一で且つ前記第 1 の凸部同士の間隔と異なる間隔をおいて延びる複数の第 2 の凸部を有し、活性層を含む積層体からなる第 2 の半導体層とを備え、

前記複数の第 2 の凸部のうちの 1 つの頂面から、前記活性層に対してキャリアが注入されることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 9 4】 基板上に、第 1 の半導体層を形成し、形成した第 1 の半導体層の上部に、基板面方向に間隔をおいて延びる複数の第 1 の凸部を形成する工程と、

前記第 1 の半導体層の上に、その下面が前記第 1 の凸部と接すると共に、活性層を含む積層体からなる第 2 の半導体層を形成し、形成した第 2 の半導体層の上部に前記第 1 の凸部が延びる方向と同一で且つ前記第 1 の凸部同士と異なる間隔をおいて延びる複数の第 2 の凸部を形成する工程と、

前記複数の第 2 の凸部のうち、前記活性層にキャリアを注入する凸部を選別するためのマスクの位置合わせ用の目印を前記基板に形成する工程と、

前記目印により前記マスクの位置合わせを行なった後、前記マスクを用いて前記複数の第 2 の凸部のうちの 1 つをキャリア注入部とする工程とを備えていることを特徴

とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 9 5】 前記第 1 の半導体層及び第 2 の半導体層は窒化物半導体からなり、

前記第 1 の凸部を形成する工程は、形成した前記第 1 の凸部同士の間挟まれた領域に誘電体膜を形成する工程を含み、

前記目印を形成する工程は、前記目印を、前記第 1 の凸部と基板面に垂直な方向で重ならず且つ前記第 1 の凸部の近傍に位置する第 2 の凸部を認識できるように付する工程を含むことを特徴とする請求項 9 4 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 9 6】 基板上に第 1 の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、

前記溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上面における前記各溝部同士の間に前記マスク膜から露出する C 面を種結晶として、基板側から、第 2 の窒化物半導体層と、該第 2 の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第 3 の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第 4 の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、

前記積層体の上部に、前記溝部が延びる方向と同一で且つ前記溝部同士の間の間隔と異なる間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、

前記複数の凸部のうち、前記溝部の上方で且つ前記溝部同士の間の領域の近傍に位置する凸部を選択して、前記活性層にキャリアを注入するキャリア注入部を形成する工程とを備えていることを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 9 7】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記第 1 の窒化物半導体層の上に、該第 1 の窒化物半導体層をストライプ状に覆うレジストマスクを形成し、形成したレジストマスクを用いて前記第 1 の窒化物半導体層に対してエッチングを行なう工程を含み、

前記マスク膜を形成する工程は、前記レジストマスクをリフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項 9 6 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 9 8】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項 9 6 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 9 9】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 9 8 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 1 0 0】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴プラズマを用いて形成することを特徴とする請求項 9 8 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 101】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請求項 98 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 102】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化合物であることを特徴とする請求項 96 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 103】 前記高融点金属又は高融点金属化合物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 102 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 104】 基板上に第 1 の窒化物半導体層を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、前記溝部の底面とその壁面の少なくとも 1 部とを覆うマスク膜を形成する工程と、

前記第 1 の窒化物半導体層の上における前記各溝部同士の間前に前記マスク膜から露出する領域を種結晶として、基板側から、第 2 の窒化物半導体層と、該第 2 の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第 3 の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第 4 の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、

前記積層体の上部に、前記溝部が延びる方向と同一で且つ前記溝部同士の間隔と異なる間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、

前記複数の凸部のうち、前記溝部の上方で且つ前記溝部同士の間隔の近傍に位置する凸部を選択し、選択した凸部に、前記活性層にキャリアを注入するキャリア注入部を形成する工程とを備えていることを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項 105】 前記複数の溝部を形成する工程は、前記第 1 の窒化物半導体層の上に、該第 1 の窒化物半導体層をストライプ状に覆うレジストマスクを形成し、形成したレジストマスクを用いて前記第 1 の窒化物半導体層に対してエッチングを行なう工程を含み、

前記マスク膜を形成する工程は、前記レジストマスクをリフトオフする工程を含むことを特徴とする請求項 104 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 106】 前記マスク膜は誘電体からなることを特徴とする請求項 104 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 107】 前記誘電体は、窒化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化ジルコニウム又は酸化ニオブであることを特徴とする請求項 106 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 108】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴プラズマを用いて形成することを特徴とする請求

項 106 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 109】 前記マスク膜は、電子サイクロトロン共鳴スパッタ法を用いて形成することを特徴とする請求項 106 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項 110】 前記マスク膜は高融点金属又は高融点金属化合物であることを特徴とする請求項 104 に記載の窒化物半導体素子の製造方法。

【請求項 111】 前記高融点金属又は高融点金属化合物は、タングステン、モリブデン、ニオブ、タングステンシリサイド、モリブデンシリサイド又はニオブシリサイドであることを特徴とする請求項 110 に記載の半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光情報処理分野等への応用が期待される短波長半導体レーザ素子等に用いる窒化物半導体の製造方法、並びに該窒化物半導体を用いた半導体素子、半導体発光素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、V 族元素に窒素 (N) を含む III-V 族化合物からなる窒化物半導体は、そのエネルギーギャップの大きさから、短波長発光素子の材料として有望視されている。なかでも、窒化ガリウム系化合物半導体 ($Al_xGa_yIn_zN$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, x+y+z=1$)) は、その研究及び開発が盛んに行なわれており、その結果、青色又は緑色発光ダイオード (LED) 素子が実用化されるに至っている。また、光ディスク装置の大容量化に伴って、発振波長が 400 nm 程度の半導体レーザ素子が熱望されており、窒化ガリウム系半導体を用いた半導体レーザ素子が実用レベルに達しつつある。

【0003】 (第 1 の従来例) 以下、第 1 の従来例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子について図面を参照しながら説明する。

【0004】 図 37 はレーザ発振が達成されている従来の窒化ガリウム系半導体レーザ素子の断面構成を示している。図 37 に示すように、従来の半導体レーザ素子は、サファイアからなる基板 301 の上に、例えば有機金属気相成長 (MOVPE) 法により順次形成された、窒化ガリウム (GaN) からなるバッファ層 302、n 型 GaN からなる n 型コンタクト層 303、n 型窒化アルミニウムガリウム ($AlGaN$) からなる n 型クラッド層 304、n 型 GaN からなる n 型光ガイド層 305、インジウムの組成が異なる窒化ガリウムインジウム ($Ga_{1-y}In_yN/Ga_{1-y}In_yN$ (但し、 $0 < y < 1$)) が積層されてなる多重量子井戸 (MQW) 活性層 306、p 型 GaN からなる p 型光ガイド層 307、p 型 $AlGaN$ からなる p 型クラッド層 308、及び p 型 GaN からなる p 型コンタクト層 309 を有して

いる。

【0005】p型クラッド層308の上部及びp型コンタクト層309には、幅が $3\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 程度のリッジ部が形成されている。MQW活性層306を含む積層体は、n型コンタクト層303の一部を露出するようにエッチングされており、エッチングされた積層体の上面及び側面は絶縁膜310により覆われている。絶縁膜310におけるp型コンタクト層309の上側部分にはストライプ状の開口部が設けられ、絶縁膜310のリッジ部の上には該開口部を通してp型コンタクト層309とオーミック接触するp側電極311が形成されている。また、n型コンタクト層303の絶縁膜310からの露出部分の上にはn型コンタクト層303とオーミック接触するn側電極312が設けられている。

【0006】このように形成された半導体レーザ素子におけるn側電極312を接地し、p側電極311に所定電圧を印加すると、MQW活性層306内で光学利得を生じて、発振波長が 400nm 程度のレーザ発振を起こす。

【0007】レーザ光の発振波長は、MQW活性層306を構成する $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ 及び $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ の組成又は膜厚によって変化する。現在、室温以上での連続発振が実現されている。

【0008】また、リッジ部の幅又は高さを調節することによって、水平方向（基板面に平行）の横モードにおける基本モードのレーザ発振を可能としている。すなわち、基本横モードと1次以上の高次モードとの光の閉じ込め係数値に差を設けることにより、基本横モードにおける発振を可能としている。

【0009】基板301には、サファイアの他に、炭化ケイ素（ SiC ）やネオジウムガレート（ NdGaO_3 : Neodymium gallate）等が用いられるが、いずれの材料も窒化ガリウムと格子整合を行なえず、コヒーレントな成長を得ることが難しい。その結果、刃状転位、らせん転位又は異種の転位が混合した混合転位が多く、例えば基板にサファイアを用いた場合には、約 $1\times 10^9\text{cm}^{-2}$ の転位が存在して、半導体レーザ素子の信頼性の低下を引き起こす。

【0010】そこで、転位密度を低減する方法として、選択的横方向成長（epitaxial lateral overgrowth : ELOG）法が提案されている。これは格子不整合が大きい半導体結晶において、貫通転位を低減させる方法として有効である。

【0011】（第2の従来例）図38はELOGによって形成された窒化ガリウムからなる半導体層の結晶転位の分布を模式的に表わしている。

【0012】図38を用いてELOG法の概略を説明すると、まず、MOVPE法等により、サファイアからなる基板401上に GaN からなるシード（種）層402を成長する。

【0013】次に、化学的気相堆積（CVD）法等により、酸化シリコン等からなる誘電体膜を堆積した後、フォトリソグラフィ法及びエッチング法とによって、堆積した誘電体膜から、所定周期のストライプ状の開口パターンを持つマスク膜403を形成する。

【0014】次に、MOVPE法又はハライド気相成長（HVPE）法により、マスク膜403の上にシード層402のマスク膜303から露出した部分を種結晶とする選択成長によって GaN からなる半導体層404を成長する。

【0015】このとき、半導体層404におけるマスク膜403の開口部の上側の領域は、転位密度が約 $1\times 10^9\text{cm}^{-2}$ 程度の高転位密度領域404aとなるものの、マスク膜403上でラテラル成長した領域は転位密度が $1\times 10^7\text{cm}^{-2}$ 程度の低転位密度領域404bを得られる。

【0016】図39はこの低転位密度領域404bの上方に活性領域、すなわち電流注入領域となるリッジ部を形成した半導体レーザ素子の断面構成を示している。図39において、図37及び図38に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付している。

【0017】このように、MQW活性層306における低転位密度領域404bの上方に電流注入領域を設けることより、レーザ素子の信頼性の向上を図ることができる。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】本願発明者らは、種々検討を行なった結果、前記の第1の従来例及び第2の従来例に係る半導体レーザ素子には、以下に述べるような様々な問題があることを見出ししている。

【0019】第1に、第2の従来例に係るELOG法による窒化物半導体の成長方法に対する問題点を説明する。

【0020】図40（a）～図40（d）は半導体層404の成長時にマスク膜403上に窒化ガリウムの多結晶体405が析出して、半導体層404の結晶性が劣化する様子を模式的に表わしている。

【0021】具体的には、図40（a）に示すように、まず、シード層402の上面に開口部を持つマスク膜403を形成しておき、次に、図40（b）に示すように、シード層402におけるマスク膜403の各開口部から露出する領域を種結晶として複数の半導体層404をそれぞれ成長させる。このとき、マスク膜403は誘電体からなり、該誘電体上では結晶化されない複数の多結晶体405が析出することがある。

【0022】次に、図40（c）及び図40（d）に示すように、多結晶体405が析出した状態で、複数の半導体層404が一体化しその表面が平坦化されるまで成長し続けると、多結晶体405の上には結晶性が悪い領域404cが形成される。

【0023】本願発明者らは、この結晶性が悪い領域404の上方に電流注入領域を形成しても良好な特性を持つレーザ素子を決して得ることはできないという知見を得ている。

【0024】第2に、第1及び第2の従来例に係る半導体レーザ素子では、活性層の基板面に対して垂直な方向の光の閉じ込め係数値を大きくすることが困難であるという問題点を見い出している。

【0025】図41は、第1の従来例に係る半導体レーザ素子における、MQW活性層306における基板面に対して垂直な方向の屈折率分布と、共振器端面での光強度分布との関係を示している。MQW活性層306に閉じ込められた生成光の一部が基板301に漏れ出して、n型コンタクト層303に定在波が生成していることが分かる。このように、MQW活性層306から基板301への生成光の漏れが多いと、MQW活性層306への光の閉じ込め率が低下し、レーザ光の発振しきい値が大きくなる。

【0026】また、図42は第1の従来例に係るレーザ素子の遠視野像を示している。ここで、横軸は出射光における共振器端面の法線方向からの水平方向（基板面方向）へのずれを表わし、縦軸は出射光の光強度を表わしている。第1の従来例のように基板301側への生成光の漏れが多いと、単峰性の遠視野像を得ることも困難となる。これは、第2の従来例に係る半導体レーザ素子においても同様である。

【0027】第3に、第1の従来例に係る半導体レーザ素子は、ウエハ状態で形成された複数のレーザ素子を、例えば、へき開により個々のレーザチップとして形成する際に、サファイアからなる基板と窒化物半導体層との結晶面が異なるために、共振器端面に平坦な面が得られないという問題がある。すなわち、図43に示すように、基板301を構成するサファイアは、面方位が（1-100）面の、いわゆるM面のへき開が容易であるため、通常はサファイアのM面をへき開面としている。

【0028】ところが、窒化物半導体、例えば、窒化ガリウムのM面はサファイアのM面と面内で30度だけずれているため、サファイアのM面と窒化ガリウムの（1-1-20）面、いわゆるA面が一致する。このため、基板301をへき開するとバッファ層302及びその上の積層体には、基板301とへき開面が30度だけずれたへき開面が、段差が数百nmの凹凸面となって現われる。

【0029】共振器端面がこのような凹凸面となると、共振器端面によるレーザ光のミラー損失が増大するため、半導体レーザ素子の動作電流が増大し、ひいては信頼性の低下をもたらす。さらに、共振器端面の凹部及び凸部は無秩序に発生するため、所定の反射率を有する共振器端面を再現性良く形成することが困難となり、歩留まりが低下する。なお、共振器の形成に、へき開法では

なくドライエッチング法を用いても同様の問題が生じる。なお、本願明細書においては、面方位の負符号“-”は該負符号に続く一指数の反転を表わす。

【0030】一方、第2の従来例に係る半導体レーザ素子の場合、選択成長用のマスク膜403のストライプ状の開口部は、半導体層404のM軸に平行となるよう形成される。これはA軸方向へのラテラル成長の速度が他の方向と比べて極めて速く、短時間で効率良く選択成長を行なえるからである。このため、低転位密度領域404bはM軸に平行となるので、低転位密度領域の上に形成するレーザ素子の共振器端面は必然的にM面となる。その結果、基板401のA面でへき開する必要がある。前述したように、サファイアはM面におけるへき開は容易であるが、A面はそれ程容易ではないため、半導体レーザ素子の歩留まりが大幅に低下するという問題がある。

【0031】第4に、ELOG法は、シード層402のC軸と、その上に選択成長する半導体層404のC軸とのなす角度（チルト）が0.1度～1度程度に存在することが知られている。

【0032】一方、ELOG法によって得られた低転位密度領域404bを再度種結晶とし、高転位密度領域404aを別の選択成長用マスク膜により被覆して再度ELOG成長を行なうと、低転位密度領域404bのみからなる窒化物半導体結晶を得ることができる。これにより、低転位密度領域404bのみからなる結晶上に端面がA面の共振器を形成することが可能となり、へき開による歩留まりを大幅に向上できる。

【0033】しかしながら、A軸方向に共振器を形成すると、シード層402とその上の選択成長層との間に、前述したC軸のチルトが存在するため、導波路がC軸方向にジグザグ形状となる。このジグザグ形状の導波路により、導波損失が生じてレーザ素子の動作電流が増加するという問題がある。また、複数の共振器が基板面に対してそれぞれ垂直な方向に設けられる垂直共振器型の面発光レーザ素子アレイを形成するような場合には、アレイ状の共振器からの各レーザ光の出射方向が一致しなくなるという問題がある。

【0034】第5に、前記第2の従来例に係る半導体レーザ素子は、低転位密度領域404b同士の幅が約5μm程度と極めて小さく、この低転位密度領域404bから外れないように、約3μmの幅を持つリッジ部のフォトリソグラフィ工程における位置合わせに高い精度が要求されるため、フォトリソグラフィ工程のスループットの低下や歩留まりの低下等が生じて、生産効率を向上できないという問題がある。

【0035】本発明は、前記の種々の問題に鑑みてなされ、ELOG法による結晶性の向上を図ること第1の目的とし、共振器への光の閉じ込め係数値を大きくできる

ようにすることを第2の目的とし、ミラー損失が少ない共振器端面を形成できるようにすることを第3の目的とし、導波損失が少ない共振器を形成できるようにすることを第4の目的とし、リッジ部形成用のマスクの位置合わせを容易に行なえるようすることを第5の目的とする。これにより、本発明は、特に光ディスク装置用レーザ素子への応用に優れた効果を奏する。

【0036】

【課題を解決するための手段】本発明に係る第1の窒化物半導体の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板上に、 Al, Ga, In, N (但し、 u, v, w は、 $0 \leq u, v, w \leq 1, u + v + w = 1$ である。) からなる第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する凸部同士に挟まれてなる凹部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上に、マスク膜から露出する各凸部の頂面であるC面を種結晶として、 Al, Ga, In, N (但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1, x + y + z = 1$ である。) からなる第2の窒化物半導体層を成長する工程とを備えている。

【0037】第1の窒化物半導体の製造方法によると、第1の窒化物半導体層の上面に複数の凸部を形成し、形成した凸部同士に挟まれた底面をマスク膜により覆うため、第2の窒化物半導体層は第1の窒化物半導体層の凸部の頂面に現われたC面のみを種結晶として成長する。その結果、マスク膜の上に第2の窒化物半導体層の多結晶体が析出したとしても、マスク膜を凸部同士の間の底面上に設けているため、第2の窒化物半導体層が基板面と平行な方向に成長(ラテラル成長)する際に、多結晶

【0038】本発明に係る第2の窒化物半導体の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板上に、 Al, Ga, In, N (但し、 u, v, w は、 $0 \leq u, v, w \leq 1, u + v + w = 1$ である。) からなる第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する凸部同士に挟まれてなる凹部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上に、各凸部におけるマスク膜から露出する領域を種結晶として、 Al, Ga, In, N (但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1, x + y + z = 1$ である。) からなる第2の窒化物半導体層を成長する工程とを備えている。

【0039】第2の窒化物半導体の製造方法によると、第2の窒化物半導体層が基板面と平行な方向に成長する際に、マスク膜の上に第2の窒化物半導体層の多結晶

が析出したとしても、マスク膜を凸部同士の間の底面及び壁面の少なくとも一部に設けているため、第2の窒化物半導体層は多結晶体の上方を成長するので、多結晶体によりその成長が妨げられなくなり、第2の窒化物半導体層の結晶性が良好となる。

【0040】本発明に係る第1の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上面における各溝部同士の間にマスク膜から露出するC面を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、積層体の上に、活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備えている。

【0041】第1の窒化物半導体素子の製造方法によると、活性層を含む積層体は本発明の第1の窒化物半導体の製造方法により形成されるため、活性層及びそれを上下方向から挟む窒化物半導体層のそれぞれの結晶性が優れる。このため、半導体素子としての信頼性を著しく向上することができる。

【0042】本発明に係る第2の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上における各溝部同士の間にマスク膜から露出する領域を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、積層体の上に、活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備えている。

【0043】第2の窒化物半導体素子の製造方法によると、活性層を含む積層体は本発明の第2の窒化物半導体の製造方法により形成されるため、活性層及びそれを上下方向から挟む窒化物半導体層のそれぞれの結晶性が優れる。このため、半導体素子としての信頼性を著しく向上することができる。

【0044】本発明に係る第3の窒化物半導体の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板の上部に、基板面方向に互いに並行して延びる複数の凸部を形成する工程と、基板の上の各凸部の頂面に、 Al, Ga, In, N (但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1, x + y +$

$z = 1$ である。) からなる窒化物半導体層を選択的に成長する工程とを備えている。

【0045】第3の窒化物半導体の製造方法によると、本発明の第1の窒化物半導体の製造方法と同様の効果を得られる上に、基板自体にストライプ状の凸部を設けるため、種結晶用の半導体層が不要となる。また、基板に窒化物半導体を用いない場合には選択成長用のマスク膜をも設ける必要がなくなり、半導体の製造プロセスを大幅に簡略化できる。

【0046】本発明に係る第3の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第1の目的を達成し、基板の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、基板の上面における各溝部同士の間領域上に、基板側から選択的に、第1の窒化物半導体層と、該第1の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第2の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第3の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、積層体の上に、活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備えている。

【0047】第3の窒化物半導体素子の製造方法によると、活性層を含む積層体は本発明の第3の窒化物半導体の製造方法により形成されるため、活性層及びそれを上下方向から挟む窒化物半導体層のそれぞれの結晶性が優れると共に、製造プロセスを大幅に簡略化できるので、生産性を向上することができる。

【0048】本発明に係る第1の窒化物半導体素子は、前記第2の目的を達成し、基板上に順次形成され、第1の窒化物半導体層、該第1の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第2の窒化物半導体層からなる活性層及び該活性層よりも光の屈折率が小さい第3の窒化物半導体層とを含む積層体と、積層体の上に形成され、活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部とを備え、活性層における電流狭窄部の下方で且つ活性層と基板との間の領域に空隙部が形成されている。

【0049】第1の窒化物半導体素子によると、活性層における電流狭窄部の下方であって活性層と基板との間の領域に、光の屈折率が半導体よりも小さい空隙部を設けているため、活性層で生成された生成光が基板側に漏れにくくなるので、活性層への生成光の閉じ込め係数値を大きくできる。

【0050】本発明に係る第2の窒化物半導体素子は、前記第2の目的を達成し、基板上に形成され、上部に互いに間隔をおいて基板面方向に延びる複数の凸部を有する第1の窒化物半導体層と、第1の窒化物半導体層の上に、下面が各凸部の頂面と接するように形成された第2の窒化物半導体層と、第2の窒化物半導体層の上に形成され、第3の窒化物半導体層、該第3の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第4の窒化物半導体層からなる活性層及び該活性層よりも光の屈折率が小さい第5の

窒化物半導体層とを含む積層体とを備え、第2の窒化物半導体層は、第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さい又は同等の屈折率を持つ。

【0051】第2の窒化物半導体素子によると、第2の窒化物半導体層は、上部にストライプ状の凸部を有する第1の窒化物半導体層の凸部の頂面を種結晶として成長しているため、第2の窒化物半導体層の下側で且つ第1の窒化物半導体層の凸部同士の間領域には空隙部が形成されることになる。さらに、第2の窒化物半導体層は、第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等の屈折率を持つため、積層体における空隙部の上方に電流狭窄部を設けると、活性層における光の閉じ込め係数値が確実に大きくなる。

【0052】本発明に係る第4の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第2の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上面における各溝部同士の間領域にマスク膜から露出するC面を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、第3の窒化物半導体層と、該第3の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第4の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりも光の屈折率が小さい第5の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、積層体の上に、活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備え、積層体を成長する工程は、第2の窒化物半導体層を、その光の屈折率が第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等となるように成長する工程を含む。

【0053】第4の窒化物半導体素子の製造方法によると、本発明の第2の窒化物半導体素子を確実に形成できる。

【0054】本発明に係る第5の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第2の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上における各溝部同士の間領域にマスク膜から露出する領域を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、第3の窒化物半導体層と、該第3の窒化物半導体層よりも光の屈折率が大きい第4の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりも光の屈折率が小さい第5の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、積層体の上に、活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部を形成する工程とを備え、積層体を成長する工程は、第2の窒化物半導体層を、その光の屈折率が第3の窒化物半導体層の光の屈折率よりも小さいか又は同等となるように成長する工程を含む。

【0055】第5の窒化物半導体素子の製造方法によると、本発明の第2の窒化物半導体素子を確実に形成できる。

【0056】本発明に係る第4の窒化物半導体の製造方法は、前記第3の目的を達成し、基板上に、Al、Ga、In、N（但し、 u, v, w は、 $0 \leq u, v, w \leq 1$ 、 $u + v + w = 1$ である。）からなる第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する凸部同士に挟まれる凹部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上に、マスク膜から露出する各凸部の頂面であるC面を種結晶として、Al、Ga、In、N（但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ 、 $x + y + z = 1$ である。）からなる複数の第2の窒化物半導体層を成長する工程とを備え、複数の第2の窒化物半導体層を形成する工程は、各第2の窒化物半導体層を、各第2の窒化物半導体層が複数の凸部のうちの所定数の凸部を跨ぐごとに該凸部が延びる方向と平行な側端面が露出するように形成する工程を含む。

【0057】第4の窒化物半導体の製造方法によると、第2の窒化物半導体層のそれぞれを、第1の窒化物半導体層の上部に設けられた複数の凸部のうちの所定数の凸部を跨ぐごとに該凸部が延びる方向と平行な側端面が露出するように形成するため、該側端面を共振器端面とすれば、該共振器端面がへき開面やエッチング面に影響されなくなるので、共振器端面のミラー損失を低減できる。

【0058】本発明に係る第5の窒化物半導体の製造方法は、前記第3の目的を達成し、基板上に、Al、Ga、In、N（但し、 u, v, w は、 $0 \leq u, v, w \leq 1$ 、 $u + v + w = 1$ である。）からなる第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、互いに隣接する凸部同士に挟まれる凹部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上に、各凸部におけるマスク膜から露出する領域を種結晶として、Al、Ga、In、N（但し、 x, y, z は、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ 、 $x + y + z = 1$ である。）からなる複数の第2の窒化物半導体層を成長する工程とを備え、複数の第2の窒化物半導体層を形成する工程は、各第2の窒化物半導体層を、各第2の窒化物半導体層が複数の凸部のうちの所定数の凸部を跨ぐごとに該凸部が延びる方向と平行な側端面が露出するように形成する工程を含む。

【0059】第5の窒化物半導体の製造方法によると、第2の窒化物半導体層のそれぞれを、第1の窒化物半導体層の上部に設けられた複数の凸部のうちの所定数の凸部を跨ぐごとに該凸部が延びる方向と平行な側端面が露

出するように形成するため、該側端面を共振器端面とすれば、該共振器端面がへき開面やエッチング面に影響されなくなるので、共振器端面のミラー損失を低減できる。

【0060】本発明に係る第6の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第3の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上面における各溝部同士の間にマスク膜から露出するC面を種結晶として、基板側から、それぞれが、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むように複数の積層体を成長する工程と、各積層体の上に、活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部をそれぞれ形成する工程とを備え、複数の積層体を成長する工程は、各積層体を、該積層体が第1の窒化物半導体層のC面を所定数だけ跨ぐごとに電流狭窄部からなる共振器端面が露出するように形成する工程を含む。

【0061】第6の窒化物半導体素子の製造方法によると、それぞれ活性層を含む各積層体は、本発明の第4の窒化物半導体の製造方法により形成されるため、共振器端面がへき開面やエッチング面に影響されなくなるので、共振器端面のミラー損失を低減できる。

【0062】本発明に係る第7の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第3の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上における各溝部同士の間にマスク膜から露出する領域を種結晶として、基板側から、それぞれが、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むように複数の積層体を成長する工程と、各積層体の上に、活性層にキャリアを選択的に注入する電流狭窄部をそれぞれ形成する工程とを備え、複数の積層体を成長する工程は、各積層体を、該積層体が第1の窒化物半導体層の隣接する溝部同士の間の領域を所定数だけ跨ぐごとに電流狭窄部からなる共振器端面が露出するように形成する工程を含む。

【0063】第7の窒化物半導体素子の製造方法によると、それぞれ活性層を含む各積層体は、本発明の第5の窒化物半導体の製造方法により形成されるため、共振器端面がへき開面やエッチング面に影響されなくなるの

で、共振器端面のミラー損失を低減できる。

【0064】本発明に係る第3の窒化物半導体素子は、前記第3及び第4の目的を達成し、基板上に形成され、上部に互いに間隔をおいて基板面方向に延びる複数の凸部を有する第1の窒化物半導体層と、第1の窒化物半導体層の上で且つ各凸部同士の側面の間に空隙部を持つように形成された第2の窒化物半導体層と、第2の窒化物半導体層の上に形成され、キャリアが狭窄されて注入されるストライプ状の共振器を含む第3の窒化物半導体層とを備え、共振器は生成光の共振方向が凸部が延びる方向とほぼ直交するように設けられている。

【0065】第3の窒化物半導体素子によると、生成光の共振方向が凸部が延びる方向とほぼ直交するように共振器を設けているため、例えば、凸部が延びる方向をM軸方向とし、共振器の共振方向をA軸方向とすると共振器端面はA面となる。従って、基板にサファイアを用いた場合には、基板のへき開面がM面となり、へき開が容易となつて、へき開時の歩留まりが向上する。また、この場合の共振器は、種結晶となる複数の凸部と交差するが、第1の窒化物半導体層は各凸部同士の側面の間に空隙部を持つため、第1の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層とのC軸のチルトが抑制されるので、導波損失も低減する。

【0066】本発明に係る第4の窒化物半導体素子は、基板上に形成され、上部に互いに間隔をおいて基板面方向に延びる複数の凸部を有する第1の窒化物半導体層と、第1の窒化物半導体層の上で且つ各凸部同士の側面の間に空隙部を持つように形成された第2の窒化物半導体層と第2の窒化物半導体層の上に形成され、活性層を含む第3の窒化物半導体層とを備え、第1の窒化物半導体層の凸部の頂面はC面であり、第1の窒化物半導体層のC軸と第2の窒化物半導体層のC軸とがなす角度（チルト角）は、約0.05度以下である。

【0067】第4の窒化物半導体素子によると、第2の窒化物半導体層が空隙部を形成しながら成長するラテラル成長により成長した際に、チルト角が0.05度以下であるため、活性層を含む第3の半導体層に導波路を設ける場合であっても、該導波路が基板面に対して垂直な方向にうねるジグザグ形状となることが防止されるので、導波路における導波損失を低減することができる。

【0068】本発明に係る第8の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第3及び第4の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、互いに間隔をおいて基板面方向の一方向に延びる複数の第1の溝部を形成する工程と、第1の溝部の底面を覆う第1のマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上面における各第1の溝部同士の間に第1のマスク膜から露出するC面を種結晶として、第2の窒化物半導体層を成長する工程と、第2の窒化物半導体層の上部に、互いに間隔をおいて一方向

に延び且つ互いに隣接する溝部同士の間の領域の位置が、第1の溝部同士の間の領域の位置と基板面方向に異なる複数の第2の溝部を形成する工程と、第2の溝部の底面を覆う第2のマスク膜を形成する工程と、第2の窒化物半導体層の上面における各第2の溝部同士の間に第2のマスク膜から露出するC面を種結晶として、活性層を含む第3の窒化物半導体層を形成する工程と、第3の窒化物半導体層の上に、生成光の共振方向が一方向とほぼ直交するように電流狭窄部を形成する工程とを備えている。

【0069】第8の窒化物半導体素子の製造方法によると、本発明の第3の窒化物半導体素子を確実に得ることができる。

【0070】本発明に係る第9の窒化物半導体素子の製造方法は、前記第3及び第4の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、互いに間隔をおいて基板面方向の一方向に延びる複数の第1の溝部を形成する工程と、第1の溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆う第1のマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上面における各第1の溝部同士の間に第1のマスク膜から露出する領域を種結晶として、第2の窒化物半導体層を成長する工程と、第2の窒化物半導体層の上部に、互いに間隔をおいて一方向に延び且つ互いに隣接する溝部同士の間の領域の位置が第1の溝部同士の間の領域の位置と基板面方向に異なる複数の第2の溝部を形成する工程と、第2の溝部の底面とその壁面の少なくとも一部とを覆う第2のマスク膜を形成する工程と、第2の窒化物半導体層の上面における各第2の溝部同士の間に第2のマスク膜から露出する領域を種結晶として、活性層を含む第3の窒化物半導体層を形成する工程と、第3の窒化物半導体層の上に、生成光の共振方向が一方向とほぼ直交するように電流狭窄部を形成する工程とを備えている。

【0071】第9の窒化物半導体素子の製造方法によると、本発明の第3の窒化物半導体素子を確実に得ることができる。

【0072】本発明に係る半導体発光素子は、前記第5の目的を達成し、基板上に形成され、上部に間隔をおいて基板面方向に延びる複数の第1の凸部を有する第1の半導体層と、第1の半導体層の上に第1の凸部と接するように形成され、上部に第1の凸部が延びる方向と同一で且つ第1の凸部同士の間隔と異なる間隔をおいて延びる複数の第2の凸部を有し、活性層を含む積層体からなる第2の半導体層とを備え、複数の第2の凸部のうちの1つの頂面から、活性層に対してキャリアが注入される。

【0073】一般に、ELOG法により得られる第2の半導体層は、第1の凸部の上側の領域に貫通転位が多く存在するため、その領域を避けて電流注入領域を設ける

必要がある。本発明の半導体発光素子によると、第1の凸部の形成周期と第2の凸部の形成周期との間に差が設けられているため、基板上には、これらのいずれの形成周期よりも大きい周期で第1の凸部と第2の凸部とが一致する領域が現われる。この大きい周期を用いれば、位置合わせ用の目印を容易に且つ確実に付けることができるので、製造プロセスの歩留まり及びスループットが向上する。

【0074】本発明に係る第1の半導体発光素子の製造方法は、前記第5の目的を達成し、基板上に、第1の半導体層を形成し、形成した第1の半導体層の上部に、基板面方向に間隔をおいて延びる複数の第1の凸部を形成する工程と、第1の半導体層の上に、その下面が第1の凸部と接すると共に、活性層を含む積層体からなる第2の半導体層を形成し、形成した第2の半導体層の上部に第1の凸部が延びる方向と同一で且つ第1の凸部同士と異なる間隔をおいて延びる複数の第2の凸部を形成する工程と、複数の第2の凸部のうち、活性層にキャリアを注入する凸部を選別するためのマスクの位置合わせ用の目印を基板に形成する工程と、目印によりマスクの位置合わせを行なった後、マスクを用いて複数の第2の凸部のうちの1つをキャリア注入部とする工程とを備えている。

【0075】第1の半導体発光素子の製造方法によると、本発明の半導体発光素子を確実に得ることができる。

【0076】本発明に係る第2の半導体発光素子の製造方法は、前記第5の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面を覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上面における各溝部同士の上にマスク膜から露出するC面を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、積層体の上部に、溝部が延びる方向と同一で且つ溝部同士の間隔と異なる間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、複数の凸部のうち、溝部の上方で且つ溝部同士の間隔の近傍に位置する凸部を選択して、活性層にキャリアを注入するキャリア注入部を形成する工程とを備えている。

【0077】第2の半導体発光素子の製造方法によると、本発明の半導体発光素子を確実に得ることができる。

【0078】本発明に係る第3の半導体発光素子の製造方法は、前記第5の目的を達成し、基板上に第1の窒化物半導体層を形成する工程と、第1の窒化物半導体層の上部に、基板面方向に互いに間隔をおいて延びる複数の溝部を形成する工程と、溝部の底面とその壁面の少なくとも1部とを覆うマスク膜を形成する工程と、第1の窒

化物半導体層の上における各溝部同士の上にマスク膜から露出する領域を種結晶として、基板側から、第2の窒化物半導体層と、該第2の窒化物半導体層よりもエネルギーギャップが小さい第3の窒化物半導体層からなる活性層と、該活性層よりもエネルギーギャップが大きい第4の窒化物半導体層とを含むように積層体を成長する工程と、積層体の上部に、溝部が延びる方向と同一で且つ溝部同士の間隔と異なる間隔をおいて延びる複数の凸部を形成する工程と、複数の凸部のうち、溝部の上方で且つ溝部同士の間隔の近傍に位置する凸部を選択し選択した凸部に、活性層にキャリアを注入するキャリア注入部を形成する工程とを備えている。

【0079】第3の半導体発光素子の製造方法によると、本発明の半導体発光素子を確実に得ることができる。

【0080】

【発明の実施の形態】（第1の実施形態）本発明の第1の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0081】図1は本発明の第1の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の断面構成を示している。

【0082】図1に示すように、サファイア（結晶性 Al_2O_3 ）からなる基板11上には、窒化ガリウム（ GaN ）からなる低温バッファ層（図示せず）を介して、ELOG用の GaN からなるシード層12が形成されている。

【0083】シード層12の上部には、基板面方向に互いに間隔をおいて延びるストライプ状の凸部12aが形成され、凸部12a同士に挟まれてなる各凹部（溝部）12bの底面及び壁面上には窒化シリコン（ SiN_x ）からなるマスク膜13がそれぞれ形成されている。

【0084】シード層12の上には、各凸部12aと接するように GaN からなる選択成長層14がその下面と溝部12bの底面との間に空隙部12cが設けられるように形成されている。

【0085】ここで、シード層12及び選択成長層14のIII族元素には、ガリウムに限らず、アルミニウム又はインジウムを含んでいてもよい。すなわち、シード層12及び選択成長層14は、 Al 、 Ga 、 In 、 N （但し、 u 、 v 、 w は、 $0 \leq u, v, w \leq 1$ 、 $u + v + w = 1$ である。）を満たせばよい。

【0086】選択成長層14上には、レーザ素子を構成するダブルヘテロ接合を含む複数の窒化物半導体層からなる積層体30が形成されている。

【0087】すなわち、積層体30は、選択成長層14の上に順次形成され、 n 型 GaN からなる n 型コンタクト層15、 n 型 $Al_{0.01}Ga_{0.99}N$ からなる n 型クラッド層16、 n 型 GaN からなる n 型光ガイド層17、厚さが約3nmの $Ga_{0.5}In_{0.5}N$ からなる井戸層と厚さが約6nmの GaN からなるバリア層により構成された多重量子井戸（MQW）活性層18、 p 型 GaN からなる p 型光ガイド層19、 p 型 $Al_{0.01}Ga_{0.99}N$ からな

る p 型クラッド層 20、及び p 型 GaN からなる p 型コンタクト層 21 を有している。

【0088】知られているように、ダブルヘテロ接合型のレーザ構造は、MQW 活性層 18 におけるインジウムを含む井戸層のエネルギーギャップが、アルミニウムを含む n 型及び p 型クラッド層 16、20 のエネルギーギャップよりも小さい。一方、光の屈折率は、MQW 活性層 18 の井戸層が最も大きく、以下、光ガイド層 17、19、クラッド層 16、20 の順に小さくなる。

【0089】p 型クラッド層 20 の上部及び p 型コンタクト層 21 は、幅が $3\mu\text{m}$ ～ $5\mu\text{m}$ 程度の電流注入領域で、電流狭窄部となるリッジ部 31 が形成されている。

【0090】MQW 活性層 18 を含む積層体 30 は、n 型コンタクト層 15 の一部を露出するようにエッチングされており、エッチングされた積層体 30 の上面及び側面は酸化シリコンからなる絶縁膜 22 により覆われている。

【0091】絶縁膜 22 における p 型コンタクト層 21 の上側には凸部 12a と平行な開口部が設けられ、絶縁膜 22 上のリッジ部 31 の上側及び側方の領域には、開口部を通して p 型コンタクト層 21 とオーミック接触するニッケル (Ni) と金 (Au) との積層体からなる p 側電極 23 が形成されている。

【0092】n 型コンタクト層 15 の絶縁膜 22 からの露出部分の上には n 型コンタクト層 15 とオーミック接触するチタン (Ti) とアルミニウム (Al) との積層体からなる n 側電極 24 が形成されている。

【0093】ここで、リッジ部 31 は空隙部 12c の上方に位置する、結晶転位が少ない低転位密度領域に形成されている。

【0094】以下、前記のように構成された半導体レーザ素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0095】図 2 (a)、図 2 (b) ～図 4 は本発明の第 1 の実施形態に係る半導体レーザ素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。

【0096】まず、図 2 (a) に示すように、例えば、MOVPE 法を用いて、基板温度を約 500°C ～ 530°C に設定した後、C 面 (= (0001) 面) を主面とする基板 11 上に、III 族源のトリメチルガリウム (TMG) と、窒素源のアンモニア (NH_3) とを供給して、GaN からなる低温バッファ層 (図示せず) を堆積する。続いて、基板温度を約 1020°C ～ 1030°C にまで昇温した後、TMG と NH_3 とを基板 11 上に供給することにより、GaN からなるシード層 12 を成長する。

【0097】次に、図 2 (b) に示すように、シード層 12 の上面にレジスト膜を塗布した後、塗布したレジスト膜をフォトリソグラフィ法によりストライプ状にパターンニングを行なって、レジストパターン 40 を形成す

る。続いて、レジストパターン 40 をマスクとして、シード層 12 に対してドライエッチングを行なうことにより、シード層 12 の上部に、断面幅が約 $3\mu\text{m}$ の凸部 12a と断面幅が約 $12\mu\text{m}$ の溝部 (リセス部) 12b とを 1 周期とする周期構造体を形成する。

【0098】次に、図 3 (a) に示すように、電子サイクロトロン共鳴 (ECR) スパッタ法を用いて、シード層 12 における溝部 12b の底面及び壁面とレジストパターン 40 上に、窒化シリコンからなるマスク膜 13 を堆積する。ここで、シリコンの原料には、固体シリコンを用い、反応性ガスには窒素を用い、プラズマガスにはアルゴンを用いている。このように、マスク膜 13 の堆積に ECR スパッタ法を用いることにより、低温で良質のマスク膜 13 を得ることができる。

【0099】次に、図 3 (b) に示すように、レジスタパターン 40 に対してリフトオフを行なって、レジスタパターン 40 及び該レジスタパターン 40 上のマスク膜 13 を除去する。なお、マスク膜 13 は、溝部 12b の壁面の全面を覆っていてもよく、壁面の一部を覆っていてもよい。

【0100】次に、図 4 に示すように、再度 MOVPE 法を用いて、シード層 12 の上に、マスク膜 13 から露出する凸部 12a の頂面に現われる C 面を種結晶として、GaN からなる選択成長層 14 を成長する。このとき、選択成長層 14 は、各凸部 12a の頂面から上方に成長すると共に、基板面に平行な方向にも成長 (ラテラル成長) して、各溝部 12b の両側から成長してきた結晶同士との互いに対向する側面が溝部 12b のほぼ中央部で接合して接合部 14a を形成する。これにより、複数の凸部 12a の頂面から成長する各結晶は一体化され、且つ、その上面は C 面となる。続いて、一体化された選択成長層 14 の上に、n 型コンタクト層 15、n 型クラッド層 16、n 型光ガイド層 17、MQW 活性層 18、p 型光ガイド層 19、p 型クラッド層 20 及び p 型コンタクト層 21 を順次成長して積層体 30 を形成する。

【0101】その後、図 1 に示すように、p 型クラッド層 20 の上部及び p 型コンタクト層 21 に対して、MQW 活性層 18 に選択的に電流を注入するリッジ部 31 を、空隙部 12c の上方で且つ接合部 14a と重ならない領域からなる低転位密度領域に形成する。

【0102】続いて、積層体 30 におけるリッジ部 31 を含まない領域に対してドライエッチングを行なって、n 型コンタクト層 15 を露出した後、積層体 30 の露出面に絶縁膜 22 を堆積する。その後、絶縁膜 22 における、リッジ部 31 の上側部分及び n 型コンタクト層 15 の上側部分にそれぞれ開口部を選択的に設けた後、蒸着法又はスパッタ法等により、リッジ部 31 における絶縁膜 22 の開口部からの露出領域及びその側方上に p 側電極 23 を形成し、n 型コンタクト層 15 における絶縁膜

22の開口部からの露出領域上にn側電極24を形成する。

【0103】このようにして得られた半導体レーザ素子に対して、p側電極23とn側電極24との間に順方向の所定電圧を印加すると、MQW活性層18に向かって、p側電極23から正孔が注入されると共にn側電極24から電子が注入され、MQW活性層18において光学利得を生じて、発振波長が約404nmのレーザ発振を起こす。

【0104】図5に示すように、選択成長層14における種結晶の上側の領域、すなわち、凸部12aの上側の領域は、転位密度が約 $1 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ と高転位密度領域14bが形成される。一方、ラテラル成長した領域は転位密度が $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 程度の低転位密度領域14cとなる。従って、積層体30における低転位密度領域14cの上方に、リッジ部31、すなわちレーザ光の共振器となる電流注入領域を形成することにより、レーザ素子の信頼性を向上することができる。

【0105】本実施形態の特徴であるシード層12の溝部12bの効果について図6(a)～図6(d)を参照しながら説明する。

【0106】図6(a)に示すように、シード層12の上部にストライプ状の溝部12bを形成し、続いて、溝部の少なくとも底面上にマスク膜13を形成する。

【0107】次に、図6(b)及び図6(c)に示すように、溝部12b同士に挟まれてなる凸部12aの頂面を種結晶として選択成長層14を成長させると、マスク膜13の上にGaInからなる多結晶体41が析出する場合がある。

【0108】次に、図6(d)に示すように、多結晶体41が析出したままELO成長を続けて、選択成長層14が一体化されたとしても、種結晶である凸部12aの頂面と、多結晶体41が析出した溝部12bの底面との間には段差部が形成されているため、多結晶体41は選択成長層14及び積層体30の結晶性に何ら影響を及ぼすことがない。その結果、積層体30の結晶性のばらつきを大きく低減でき、半導体レーザ素子の製造の歩留まりを大きく向上することができる。

【0109】ところで、図1に示した選択成長層14及び積層体30を基板面に垂直な方向に貫く接合部14aは、刃状転位が集中して小傾角粒界を形成している。従って、n側電極24から注入された電子は複数の接合部14aを横切ってMQW活性層18に到達することになるが、接合部14aに集中した転位が電子の注入を妨げることはない。

【0110】また、半導体レーザ素子をチップ状に形成する際には、共振器のミラー面となる共振器端面を形成する必要がある。一般に、半導体レーザ素子の共振器端面は基板11をへき開することによって形成するが、へき開時には基板11に傷やクラックが生じることがあ

る。

【0111】図39に示した第2の従来例に係る製造方法は、基板401と最下層の半導体層404とが接触しているために、基板401に生じた傷はMQW活性層306を含む積層体にまで達し、レーザ素子の動作及び光学特性を大きく損ねるといった不具合を生じる。

【0112】一方、本実施形態においては、基板11と積層体30との間に空隙部12cを設けているため、基板11に生じた傷を空隙部12cでとどめることができる。このため、基板11に生じた傷によって積層体30が不具合を被る虞を著しく低減できる。

【0113】また、図37に示した第1の従来例に係る製造方法は、サファイアや炭化ケイ素からなる基板301上に窒化物半導体層を成長させると、結晶の転位密度が約 10^9 cm^{-2} と多くなる。このような高転位密度を有する半導体結晶は、ステップフロー成長する際に、高密度の転位、特にらせん転位によって結晶表面のステップが終端され、結晶表面にマイクロファセットが形成される。このため、結晶表面の凹凸が大きくなって平坦性が悪い結晶となってしまう。その結果、インジウムを含むMQW活性層306を成長する際に、原料のインジウムが成長中の結晶内に取り込まれる量にばらつきが生じてしまい、レーザ素子のしきい値電流が増大する等の悪影響が生じる。

【0114】本実施形態に係る製造方法によると、図5に示した、ラテラル成長領域、すなわち低転位密度領域14cにおいて、一様なステップフロー成長を観察しており、結晶表面の平坦性が良好である。その結果、MQW活性層18を成長する際にも、インジウムの局所的な偏析が生じないので、しきい値電流の低減を図ることができる。

【0115】なお、本実施形態においては、窒化物半導体の成長方法にMOVPE法を用いたが、これに限定されない。MOVPE法に代えて、ハイドライド気相成長(HVPE)法又は分子線エピタキシ(MBE)法等の、窒化物半導体を成長可能な方法であればよい。後述の各実施形態においても同様である。

【0116】また、基板11にサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素、ネオジムガレート(NGO)又は窒化ガリウム等を用いてもよい。

【0117】また、シード層12は、基板11との間に低温バッファ層を介した2段階成長によって形成したが、シード層12に単結晶を得られる方法であれば、低温バッファ層は必ずしも必要ではない。

【0118】また、シード層12の上部の凸部12aの形成にリフトオフ法を用いたが、凸部12a及び溝部12bが形成でき、該溝部12bの少なくとも底面にマスク膜13が残る方法であれば、他の方法を用いてもよい。すなわち、凸部12aにおけるマスク13により覆われていない領域のうちのC面を種結晶として、空隙部

12cが形成される方法であれば良い。さらには、凸部12aをシード層12の上部を掘り込みリセスエッチによって形成する代わりに、シード層12の平坦な上面に、ストライプ状の開口パターンを持つ選択成長用のマスク膜を形成し、そのマスク膜の開口パターンから突出して成長した凸部を用いてもよい。

【0119】また、マスク膜13は、空隙部12cが形成されればよく、溝部12bの底面上にのみ形成してもよい。

【0120】また、マスク膜13の材料に窒化シリコンを用いたが、窒化シリコンに代えて、他の誘電体膜又は非晶質の絶縁膜を用いてもよい。具体的には、酸化シリコン(SiO_2)、酸化窒化シリコン(SiON)、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、窒化酸化アルミニウム(AlNO)、酸化チタン(TiO_2)、酸化ジルコニウム(ZrO_2)又は酸化ニオブ(Nb_2O_5)を用いてもよい。これらの膜はECRスパッタ法を用いることにより、比較的容易に形成することができる。

【0121】(第1の実施形態の第1変形例)以下、本発明の第1の実施形態の第1変形例として、マスク膜に高融点金属又は高融点金属化合物を用いる例を説明する。

【0122】選択成長用のマスク膜13に、高融点金属であるタングステン(W)を用いると、マスク膜13に誘電体を用いる場合と比べて結晶成長の選択性が向上し、マスク膜13上の多結晶体41の析出がより抑えられる。これにより、多結晶体41の影響を受けない高品質な積層体30を極めて容易に形成することができる。

【0123】これは金属からなるマスク膜13の方が誘電体からなるマスク膜13と比べて、窒化物半導体結晶との結合力が弱いことに起因する。

【0124】また、高融点金属であるタングステンは、その融点が3380℃と、金属で最も融点が高く且つ蒸気圧も低くて特性が安定しているため、酸化シリコン等の誘電体を用いた場合のシリコンや酸素等の不純物が選択成長層14へ混入する虞がない。このため、タングステンからなるマスク膜13を用いて成長した選択成長層14には深い準位や非発光中心が形成されない。

【0125】図7は誘電体からなるマスク膜13を用いた選択成長層14と、高融点金属からなるマスク膜13を用いた選択成長層14との室温でのフォトルミネッセンスを比較した結果を示している。

【0126】図7に示すように、第1変形例に係る選択成長層14は波長が430nm付近の深い準位からの発光もなく、極めて強いバンド端発光を得られている。これにより、第1の実施形態に係る選択成長層14と比べて、より高品質な結晶体を得られることが分かる。従って、このような高品位な選択成長層14の上に積層体30を成長すれば、より発光効率が高いMQW活性層18を形成することができる。

【0127】なお、第1変形例に係るマスク膜13にタ

ングステンを用いたが、代わりに、他の高融点金属又は高融点金属化合物を用いてもよい。例えば、モリブデン(Mo)、ニオブ(Nb)、タングステンシリサイド(WSi_x)、モリブデンシリサイド(MoSi_x)又はニオブシリサイド(NbSi_x)を用いてもよい。これらの膜は、電子ビーム蒸着法又はスパッタ法を用いることにより、比較的容易に得ることができる。

【0128】(第1の実施形態の第2変形例)図8は本発明の第1の実施形態の第2変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の断面構成を示している。図8において、図1に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0129】図8に示すように、第2変形例に係る半導体レーザ素子は、シード層12の上に、選択成長層及びn型コンタクト層を設けることなく、n型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなるn型クラッド層16を設けている。

【0130】第1の実施形態において説明したように、シード層12の上部に種結晶となる領域を除いて溝部12bを形成しているため、マスク膜13の上側には空隙部12cが形成される。これにより、マスク膜13上に多結晶体が析出したとしても、該多結晶体がシード層12の上に選択成長する半導体層に取り込まれなくなる。その結果、選択成長する半導体層の結晶性が良好となり、レーザ構造の積層体30の一部であるn型クラッド層16をシード層12の上に直接に形成できる。この場合には、n側電極24は露出したn型クラッド層16の露出部分上に設けることになる。

【0131】(第2の実施形態)以下、本発明の第2の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0132】図9は本発明の第2の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子のM面を共振器端面とする断面構成を示している。図9において、図1に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0133】本実施形態に係る半導体レーザ素子は、例えば、サファイアからなる基板11Aの上部に、選択成長用のストライプ状の凸部11aが共振器端面のM面に垂直な方向、すなわち基板11AのA軸($=<11-20>$)方向に設けられている。

【0134】ここで、n型コンタクト層15は、基板11Aの各凸部11aのC面上に生成された単結晶核を種結晶として直接に形成されていることを特徴とする。

【0135】以下、前記のように構成された半導体レーザ素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0136】図10(a)、図10(b)～図12は本発明の第2の実施形態に係る半導体レーザ素子の工程順の断面構成を示している。

【0137】まず、図10(a)に示すように、C面を主面とする基板11A上にレジスト膜を塗布した後、塗

布したレジスト膜をフォトリソグラフィ法によりストライプ状にパターンニングを行なって、基板 11A の A 軸方向に延びるストライプ状パターンでその周期が約 $10\mu\text{m}$ ~ $30\mu\text{m}$ となるレジストパターン 40 を形成する。続いて、レジストパターン 40 をマスクとして、反応性イオンエッチング (RIE) 等のドライエッチングにより基板 11A の上部に、断面幅が約 $9\mu\text{m}$ ~ $27\mu\text{m}$ で深さが約 20nm ~ 500nm の溝部 11b を形成する。ここでは、溝部 11b 同士の間領域からなる凸部 11a の断面幅を約 $1\mu\text{m}$ ~ $3\mu\text{m}$ としている。

【0138】次に、図 10 (b) に示すように、レジストパターン 40 を除去して、上部に A 軸方向に延びるストライプ状の凸部 11a を有する基板 11A を得る。

【0139】次に、図 11 に示すように、MOVPE 法を用いて、基板温度を約 1000°C に昇温した後、例えば、圧力が約 100Torr ($1\text{Torr}=133.322\text{Pa}$) の水素と窒素との混合雰囲気として、基板 11A の上にトリメチルガリウム (TMG)、アンモニア (NH_3) 及びシラン (SiH_4) を供給して、基板 11A の上に、凸部 11a の頂面に現われた C 面上に生成する単結晶核を種結晶として、n 型 GaN からなる n 型コンタクト層 15 を成長する。このとき、n 型コンタクト層 15 は、各凸部 11a の頂面から上方に成長すると共に、基板面に平行な方向にも成長して、隣接する溝部 11b の両側から成長してきた結晶同士互いに向向する側面が溝部 11b のほぼ中央部で接合して接合部 15a を形成する。これにより、複数の凸部 11a の頂面から成長する各結晶核は一体化されて、上面が C 面からなる n 型コンタクト層 15 が形成される。また、このとき、各溝部 11b の底面及び壁面と n 型コンタクト層 15 の下面とにより囲まれてなる複数の空隙部 11c が形成される。

【0140】ここで、サファイアからなる基板 11A による選択成長の成長機構を説明する。

【0141】通常、窒化物半導体を成長する際に、該窒化物半導体と格子定数が異なる基板を用いる場合には、基板上に窒化物半導体からなる低温バッファ層を介さずに GaN 結晶を直接に成長させると、GaN からなる単結晶核同士が合体してなる 3 次元的な膜しか得られない。

【0142】一方、本実施形態においては、基板 11A の溝部 11b の形成にドライエッチングを施しているため、溝部 11b の底面及び壁面上にはドライエッチングによるダメージ層が形成される。このため、溝部 11b の底面及び壁面上では単結晶核の生成が阻害される。また、ドライエッチングが施されていない凸部 11a の頂面は、その断面幅が約 $1\mu\text{m}$ ~ $3\mu\text{m}$ と小さいため、高密度の単結晶核が容易に生成される。このように凸部 11a の頂面上に生成された単結晶核が選択成長の種結晶となり、前述の成長条件で基板面方向への選択成長が促

進される。

【0143】図 11 において、接合部 15a 以外の選択成長領域では貫通転位が約 $1 \times 10^6\text{ cm}^{-2}$ の密度で観測されるのに対して、接合部 15a では C 面に水平な転位が約 $4 \times 10^7\text{ cm}^{-2}$ の密度で観測される。n 型コンタクト層 15 の厚さは、溝部 11b の幅等にも依存するが、約 $2\mu\text{m}$ ~ $6\mu\text{m}$ としている。また、n 型コンタクト層 15 における凸部 11a の上側部分の C 軸と空隙部 11c 上の領域の C 軸とのチルト角は 0.01° ~ 0.03° に抑えられている。

【0144】このように、本実施形態に係る ELO 成長法が従来の ELO 成長と比較してチルト角が極めて小さくなるのは、ELO 成長した結晶層である n 型コンタクト層 15 が基板 11A と接触しておらず、マスク膜 13 との界面で従来のようなストレスが発生しないからである。

【0145】なお、このとき、接合部 15a の下部に、空隙部 11c 側に開口する逆 V 字状のボイドが現われる。

【0146】さらに、本実施形態においては、n 型コンタクト層 15 の選択成長を行なう際に、溝部 11b の底面上に多結晶核が析出したとしても、基板 11A の上部に設けた凸部 11a と溝部 11b との間に生じる段差によって多結晶核が n 型コンタクト層 15 と接触しないため、積層体 30 の結晶の品質に悪影響を及ぼすことはない。その結果、積層体 30 から形成されるレーザ素子の動作特性のばらつきを低減でき、歩留まりを向上させることができる。

【0147】次に、図 12 に示すように、n 型コンタクト層 15 の上に積層体 30 の残りの半導体層を形成する。

【0148】すなわち、例えば、基板温度を約 970°C に設定した後、圧力が約 300Torr の水素と窒素との混合雰囲気として、n 型コンタクト層 15 の上に、n 型クラッド層 16、n 型光ガイド層 17、MQW 活性層 18、p 型光ガイド層 19、p 型クラッド層 20 及び p 型コンタクト層 21 を順次成長する。ここでは、MQW 活性層 18 を、厚さが約 4nm の $\text{Ga}_{0.92}\text{In}_{0.08}\text{N}$ からなる井戸層と厚さが約 6nm の GaN からなるバリア層により構成している。

【0149】続いて、図 9 に示すように、p 型クラッド層 20 の上部及び p 型コンタクト層 21 に対して、積層体 30 の M 軸 ($=\langle 1-100 \rangle$) 方向、すなわち、基板 11A の溝部 11b と平行な方向に、MQW 活性層 18 に選択的に電流を注入するリッジ部 31 を、空隙部 11c の上方で且つ接合部 15a と重ならない領域、すなわち、低転位密度領域に形成する。ここで、リッジ部 31 の幅は約 $2\mu\text{m}$ ~ $5\mu\text{m}$ としている。

【0150】なお、GaN 系結晶は可視光にとって透明であるため、光学顕微鏡により凸部 11a と空隙部 11

cとを識別することが容易である。このため、フォトリソグラフィ法を用いたリッジ部31の位置決めを行なう際に、専用のアライメントパターンを用いる必要がない。

【0151】次に、積層体30のリッジ部31を含まない領域をマスクして、n型コンタクト層15を露出した後、積層体30の露出面に絶縁膜22を堆積する。続いて、絶縁膜22上にリッジ部31を跨ぐと共にp型コンタクト層21の絶縁膜22からの露出領域上にp側電極23を形成する。また、n型コンタクト層15における絶縁膜22からの露出領域上にn側電極24を形成する。

【0152】次に、積層体30のM面で、すなわち基板11AをそのA面でへき開することにより共振器端面を形成する。前述したように、サファイアのA面はへき開が困難な結晶面であるが、基板11Aに空隙部11cを設けたことにより、へき開が所定の位置からずれた状態でサファイア結晶が破断したとしても、この破断が積層体30に伝播しないため、共振器端面の近傍には良好なへき開面を容易に得ることができる。これにより、レーザ素子のへき開による歩留まりを高くすることができる。

【0153】次に、へき開した共振器の両端面に適当な反射率となるように誘電体膜等によってコーティングを施し、その後、リッジ部31に対して平行な側面でチップ状に分割して半導体レーザ素子を得る。

【0154】本実施形態に係る半導体レーザ素子は、第1の実施形態で述べたように、ELO成長した領域において一様なステップフロー成長が観察される。このような平坦な表面上にMQW活性層18を成長すると、インジウムの局所的な偏析が起こらない。その結果、MQW活性層18は高品位な結晶体となるので、レーザ素子の動作電流を低減することができる。

【0155】図13は本実施形態に係る半導体レーザ素子から出射されるレーザ光の共振器端面に平行な方向における遠視野像を示しており、単峰性の良好な光強度分布が得られている。一方、第1の従来例に係る半導体レーザ素子は、図42に示したように、光強度分布が多峰性となる遠視野像を示す。

【0156】本実施形態に係る半導体レーザ素子に単峰性を得られるのは、積層体30と基板11Aとの間に空隙部11cが設けられることにより、積層体30と基板11Aとが光学的に互いに分離されているためである。

【0157】具体的に説明すると、図9に示すように、n型クラッド層16の下側には、該n型クラッド層16よりも光の屈折率が高いn型コンタクト層15が形成されているため、MQW活性層18で生成された生成光が基板11A側に漏れやすい。しかしながら、本実施形態においては、n型コンタクト層15の下側に、屈折率が極めて低い空隙部11cを設けているため、n型クラ

ッド層16と基板11Aとの間に寄生的な導波路が形成されず、従って、生成光の漏れによるMQW活性層18の光の閉じ込め係数値が低下しないからである。

【0158】なお、この寄生的な導波路の生成を阻止する効果は、空隙部11cの基板面に垂直な方向の間隔、すなわち溝部11bの深さに依存する。計算機シミュレーションによると、溝部11bの深さ寸法が少なくとも50nm程度あれば、基板11A側への光の漏れが実質的になくなることを確認している。

【0159】また、GaNからなるn型コンタクト層15にアルミニウムを2%以上添加すると、基板11A側への光の漏れをより効果的に抑制できることをも確認している。

【0160】また、本実施形態においては、基板11Aの凸部11aの頂面に生成される単結晶核として窒化ガリウムを用いたが、他の窒化ガリウム系の混晶、すなわち、Al、Ga、In、N（但し、u、v、wは、 $0 \leq u, v, w \leq 1$ 、 $u + v + w = 1$ である。）であればよい。混晶の場合は、該混晶の組成に応じてELO成長に最適な成長条件を選ぶことができる。

【0161】また、基板11Aにサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素や窒化ガリウム等を用いてもよい。但し、炭化ケイ素を基板11Aに用いると、積層体30に引っ張り歪み加わり、クラックが発生しやすくなるため、溝部11bの断面幅をできるだけ小さくすることにより、n型コンタクト層15が一体化されたときの膜厚が2μm未満となるようにすることが望ましい。また、基板11Aに炭化ケイ素や窒化ガリウムを用いた場合は、へき開はM面及びA面のいずれの面でも容易となるが、溝部11bのストライプ方向と直交する面でへき開する方が歩留まりを高くできる。

【0162】また、基板11Aに溝部11bを形成する際に、RIE法によるドライエッチングを用いたが、溝部11bの底面及び壁面にダメージ層を形成し、窒化ガリウム系半導体に選択成長性を付与できる方法であれば、他のドライエッチング方法、例えば、イオンミリング法を用いてもよい。

【0163】また、溝部11bのダメージ層をELO成長のためのマスク層としたが、析出した多結晶体がダメージ層に付着するような場合、特に、基板11Aに窒化ガリウムを用いる場合には、選択性をより向上させるために、窒化シリコン等からなるマスク膜を溝部11bの少なくとも底面上に形成することが好ましい。

【0164】なお、マスク膜13は、窒化シリコンに限らず、第1の実施形態に示した誘電体、非晶質の絶縁体でも良く、さらには、その第1変形例に示した高融点金属又は高融点金属化合物を用いることが好ましい。

【0165】以上説明したように、本実施形態に係る発明は、レーザ素子に関するが、転位密度が低い窒化ガリ

ウム系結晶を得る半導体の製造方法としても適用できる。さらに、第1の実施形態のように、基板11上にシード層12を設けないため、製造プロセスを簡略化できる。

【0166】また、本実施形態に係る低転位密度領域を有する窒化物半導体層を用いることにより、発光素子に限らず、電子素子等の他の半導体素子を形成しても良い。これにより、該半導体素子の高信頼性と高歩留まりとを実現できる。

【0167】（第3の実施形態）以下、本発明の第3の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0168】図14は本発明の第3の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の断面構成を示している。図14において、図1に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0169】第1の実施形態との構成上の相違点のみを説明する。

【0170】シード層12の各凸部12aの頂面から成長して一体化された選択成長層14Aに窒化アルミニウムガリウム（AlGaIn）を用いる共に、n型AlGaInとn型GaInとを含む超格子構造を持つn型超格子クラッド層16Aがn型コンタクト層15を兼ねる構成を採る。これにより、MQW活性層18の光の閉じ込め係数値を大きくしている。

【0171】図15は本実施形態に係る半導体レーザ素子のリッジ部における基板と垂直な方向の屈折率分布と、共振器端面の光強度分布との関係を示している。また、図16は本実施形態に係る半導体レーザ素子から出射されるレーザ光の共振器端面に平行な方向における遠視野像を示している。

【0172】第3の実施形態においては、シード層12の溝部12bの深さを約50nmとし、n型超格子クラッド層16Aの平均組成をAl_{0.07}Ga_{0.93}Inとしていて、また、n型光ガイド層17から上の積層体の構成は、図37に示した従来の半導体レーザ素子と同等の構成としている。

【0173】図15から分かるように、本実施形態に係る半導体レーザ素子は基板11側への生成光の漏れがみられない。また、MQW活性層18への光の閉じ込め係数値は、図41の場合の約1.54倍にも達することを確認している。

【0174】これは、MQW活性層18が、シード層12の空隙部12cによって基板11と分離されている上に、n型超格子クラッド層16Aとシード層12との間に、光の屈折率がn型超格子クラッド層16Aよりも小さいか又同等の屈折率を持つn型AlGaInからなる選択成長層14Aを設けていることによる。これにより、n型超格子クラッド層16Aと基板11との間に寄生的な導波路が形成されないため、MQW活性層18における光の閉じ込め係数値の生成光の漏れによる低下を抑制

できる。

【0175】なお、この寄生的な導波路の生成を阻止する効果は、空隙部12cの基板面に垂直な方向の間隔、すなわち溝部12bの深さ寸法に依存する。前述したように、溝部12bの深さ寸法が少なくとも50nm程度あれば、基板11側への光の漏れを実質的になくすることができる。

【0176】また、選択成長層14Aのアルミニウムの組成は、2%以上、望ましくは4%以上とすることにより、生成光の基板11側への漏れを抑制できる。

【0177】また、本実施形態においても、選択成長層14Aを成長する際に、AlGaInからなる多結晶体がマスク膜13上に析出したままELO成長を続行しても、種結晶である凸部12aの頂面と多結晶体が析出した溝部12bの底面との間には段差が生じているため、多結晶体により選択成長層14Aの結晶性が劣化することがない。その結果、積層体30の結晶性のばらつきを大きく低減でき、半導体レーザ素子の製造の歩留まりが向上する。

【0178】以下、積層体30上のリッジ部31の位置、合わせ方法について説明する。

【0179】積層体30における空隙部12cの上方の低転位密度領域にリッジ部31を形成するには、フォトリソグラフィ法によりリッジ部31の位置決めを高精度に行なう必要がある。

【0180】図17は積層体30を形成する前の選択成長層14の光学顕微鏡による平面写真と、それと対応する選択成長層14の断面構成を表わしている。図17に示すように、光学顕微鏡によって、低転位密度領域14cは、高転位密度領域14b及び接合部14aと容易に識別できる。従って、フォトリソグラフィ法によるリッジ部31の位置決めを行なう工程において、専用のアライメントパターン（位置合わせマーク）を用意する必要がない。

【0181】また、共振器端面の形成には、基板11及び積層体30をへき開する必要がある。本実施形態においても、シード層12に設けた空隙部12cにより、基板11に生じた傷が空隙部12cでとどまるため、積層体30への影響を確実に低減できる。

【0182】本実施例においては、n側電極24はn型超格子クラッド層16Aと接するように形成されており、n型超格子クラッド層16Aをn型コンタクト層としている。

【0183】前述したように、MQW活性層18からの生成光が基板11側に漏れないためには、n型光ガイド層17と空隙部12cとの間にアルミニウムを含む半導体層によって構成する必要がある。ところが、n側電極24を形成するためのn型コンタクト層にアルミニウムの組成が大きいバルク層（単層）、例えば、n型Al_{0.07}Ga_{0.93}Inからなる単層を用いると、該単層の抵抗

野像を得ている。

【0204】これは、MQW活性層18が、シード層12の空隙部12cによって基板11と分離されている上に、n型クラッド層16とシード層12との間に、光の屈折率がn型クラッド層16よりも小さいか又は同等の屈折率を持つn型超格子コンタクト層15A及び第2の選択成長層14Cを設けているからである。これにより、n型クラッド層16と基板11との間に寄生的な導波路が形成されず、MQW活性層18における光の閉じ込め係数値の生成光の漏れによる低下を抑制できる。

【0205】なお、本実施形態の場合は、計算機シミュレーションの結果、溝部12bの深さ寸法が少なくとも20nm程度あれば、基板11側への光の漏れを実質的になくすることができることを確認している。

【0206】また、第2の選択成長層14Cのアルミニウムの組成は、2%以上、望ましくは4%以上とすることにより、生成光の基板11側への漏れを抑制できる。

【0207】以上の構成により、MQW活性層18への光閉じ込め係数値は、図41の場合の約1.5倍となり、レーザのしきい値電流を低減できる。

【0208】次に、本発明に係る凸部12aの頂面を種結晶とする選択成長法と、図38に示す、平坦なシード層をストライプ状にマスクする第2の従来例の選択成長法との成長機構の相違点を説明する。

【0209】図19(a)は第4の実施形態に係る選択成長機構を模式的に表わしており、図19(b)は第2の従来例に係る選択成長機構を模式的に表わしている。

【0210】良く知られているように、分子等からなる反応種が所望の結晶体に成長するまでには、結晶体の表面上やマスク膜の表面上において、反応種が吸着、拡散及び蒸発等を繰り返すというプロセスを経る。例えば、Ga_{0.99}N_{0.01}からなる結晶表面に吸着した原子は結晶表面の上面であるテラス上に拡散する。また、表面に吸着された原子はステップと呼ばれるテラス上の段差部で結晶化する。

【0211】図19(b)に示すように、従来のELO成長の場合においても、マスク膜403上で同様のプロセスを経る。すなわち、マスク膜403上を拡散した原子は、Ga_{0.99}N_{0.01}からなる半導体層404の端部に吸着する。このとき、マスク膜403を構成するシリコン又は酸素が、水素やアンモニアの還元作用によって分解されて、不純物として半導体層404に取り込まれることにより、半導体層404の結晶性が劣化する。

【0212】これに対して、図19(a)に示すように、本実施形態においては、マスク膜13上を拡散して、Ga_{0.99}N_{0.01}からなる第1の選択成長層14Bに取り込まれる原子はない。それは、第1の選択成長層14Bの下面に結晶が成長し得ないためである。このように、マスク膜13上の反応種の結晶成長への寄与が従来のELO法と異なっており、このことから、本発明の成長機構は

従来のELO法による成長機構と異なっている。

【0213】本実施形態においては、第1の選択成長層14BにGa_{0.99}N_{0.01}を用い、第2の選択成長層14CにAl_{0.99}Ga_{0.01}Nを用いたが、第1の選択成長層14Bには、アルミニウムの組成が4%以下のAl_{0.96}Ga_{0.04}N(x+y+z=1)からなる窒化物半導体であればよい。

【0214】以下、低屈折率を有する第2の選択成長層14Cを成長するよりも前に、シード層12を種結晶とする第1の選択成長層14Bを形成する目的を図面に基づいて説明する。

【0215】第3の実施形態で説明したように、基板面に対して垂直な方向の横モード制御及びMQW活性層18への光の閉じ込め係数値を大きくするのであれば、選択成長層を2層構造とする必要はない。

【0216】ところが、図20(b)に示すように、AlGa_{0.99}Nからなる選択成長層14Aにおいてアルミニウムの組成が4%を越える場合には、選択成長層14Aの成長方向の端面にうねり14dが生じる場合がある。選択成長層14Aの成長条件、例えば成長圧力、成長温度、又はIII族源に対するV族源のモル比であるV/III比等に適当な値を設定すれば多少の改善はされるものの、量産を考えると、成長端面のうねり14dの発生を極力なくすることが好ましい。

【0217】本願発明者らは、シード層12を種結晶とする選択成長層には、アルミニウムの組成を小さくした窒化物半導体層を用いることが好ましいことを見いだしている。

【0218】具体的には、図20(a)に示すように、まず、アルミニウムの組成が4%以下の窒化ガリウム系半導体からなる第1の選択成長層14Bをシード層12の凸部12の近傍に成長しておき、その後、成長した第1の選択成長層14Bを種結晶として、アルミニウムの組成が4%を越え、低屈折率を有する窒化ガリウム系半導体からなる第2の選択成長層14Cを成長する。これにより、第2の選択成長層14Cは成長端面にうねり14dを生じない良好なラテラル成長を行なえるようになる。

【0219】また、第2の選択成長層14Cは、そのアルミニウムの組成が大きい程、また、その成長時間が長いほど、マスク膜13上に多結晶体41が析出しやすくなる。これはGa_{0.99}N_{0.01}結晶と比べてAlGa_{0.99}N_{0.01}結晶又はAlN結晶の蒸発速度が小さいためである。

【0220】図21(a)～図21(d)に示すように、Ga_{0.99}N_{0.01}からなり、多結晶体41が析出しにくい第1の選択成長層14Bを最初に成長することにより、成長端面が接合するまでに要する第2の選択成長層14Cの成長時間を短くすることができる。

【0221】また、図21(c)第1の選択成長層14Bが傘状に成長するため、マスク膜13上に供給される

反応種の量を低減できる。これらの効果により、マスク膜 1 3 上の多結晶体 4 1 の析出量を大きく低減できるようになり、空隙部 1 2 c の上方に成長する積層体 3 0 への影響を極めて小さくすることができる。その結果、光の閉じ込め係数値を確実に大きくできる上に、積層体 3 0 の結晶性が向上してレーザ素子としての動作特性のばらつきを大きく低減できるので、製造の歩留まりをも確実に向上することができる。

【0222】なお、本実施形態においては、基板 1 1 にサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素、ネオジムガレート又は窒化ガリウム等を用いてもよい。

【0223】また、マスク膜 1 3 は、空隙部 1 2 c が形成されれば、溝部 1 2 b の底面上にのみ形成してもよい。

【0224】また、マスク膜 1 3 には、ECR スパッタ法による窒化シリコンや酸化シリコン等の誘電体を用いても良く、さらに好ましくは、タングステン等の高融点金属やそのシリサイド化物を用いると良い。

【0225】(第 5 の実施形態) 以下、本発明の第 5 の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0226】図 2 2 及び図 2 3 は本発明の第 5 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子であって、図 2 2 は積層体の M 面における断面構成、すなわち基板の A 面における断面構成を示し、図 2 3 図 2 2 の XXIII-X XIII 線における断面を示し、積層体の A 面、すなわち基板の M 面における断面構成を示している。図 2 2 及び図 2 3 において、図 1 に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0227】第 5 の実施形態は、MQW 活性層 1 8 を含む積層体 3 0 から、平坦な共振器端面 3 2 を持つ半導体レーザ素子を確実に形成できるようにすることを特徴とする。

【0228】図 2 2 に示すように、シード層 1 2 の上部には、断面幅が約 $3 \mu\text{m}$ の凸部 1 2 a と断面幅が約 $12 \mu\text{m}$ の溝部 1 2 b とを一周期とする周期構造体の 3 4 周期 (長さ $510 \mu\text{m}$) ごとに、溝部 1 2 b の断面幅を約 $20 \mu\text{m}$ と大きくした拡大溝部 1 2 d が形成されている。

【0229】第 1 の実施形態と同様の方法で積層体 3 0 を形成すると、シード層 1 2 の各凸部 1 2 a の頂面を種結晶としてラテラル成長する積層体 3 0 は、拡大溝部 1 2 d の上方では接合されないため、隣接する積層体 3 0 の A 面同士の成長端面が接することなく現われる。この成長端面は、自然形成された結晶面であるため、M 面等の他の面方位が全く混在していない。従って、この成長端面を共振器端面 3 2 に用いると、図 4 3 に示した従来の半導体レーザ素子のように、A 面と M 面とが混在することにより生ずる共振器端面におけるミラー損失を防止できる。

【0230】この自然形成された A 面を持つ成長端面を、原子間力顕微鏡 (AFM) により観察すると、その表面は荒さの 2 乗の平均値が 1 nm 以下となる極めて平坦な表面を得られていることを確認している。

【0231】さらに、この成長端面を共振器端面 3 2 とすると、エネルギーギャップが MQW 活性層 1 8 よりも大きい p 型光ガイド層 1 9、p 型クラッド層 2 0 が共振器端面 3 2 上に形成されているため、p 型光ガイド層 1 9 及び p 型クラッド層 2 0 における端面上の領域で出射光が吸収されることがない。これにより、積層体 3 0 における共振器端面 3 2 の近傍の温度上昇が抑制されるので、端面劣化による信頼性の低下を防止できる。

【0232】第 5 の実施形態に係る半導体レーザ素子によると、ストライプ状の凸部 1 2 a の頂面を種結晶とする ELO 成長法を用いると共に、さらに、凸部 1 2 a 同士の側面により形成される溝部 1 2 b の形成周期をその形成周期よりも大きい周期で拡大溝部 1 2 d を設けている。これにより、拡大溝部 1 2 d の上方に積層体 3 0 の成長端面がそのまま露出するため、この自然形成された露出面が共振器の端面 3 2 となる。この共振器端面を持つ本実施形態に係る半導体レーザ素子と、図 3 9 に示す第 2 の従来例に係る半導体レーザ素子とのレーザ光の発振しきい値を比較すると、本実施形態に係るレーザ素子の方が約 30% も低減する。

【0233】なお、基板 1 1 にサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素、ネオジムガレート (NGO) 又は窒化ガリウム等を用いてもよい。

【0234】また、マスク膜 1 3 は、空隙部 1 2 c が形成されれば、溝部 1 2 b の底面上にのみ形成してもよい。

【0235】また、マスク膜 1 3 には、ECR スパッタ法による窒化シリコンや酸化シリコン等の誘電体を用いても良く、さらに好ましくは、タングステン等の高融点金属やそのシリサイド化物を用いると良い。

【0236】また、シード層 1 2 の上部に設けた凸部 1 2 a 及び溝部 1 2 b の幅はそれぞれ $3 \mu\text{m}$ 及び $12 \mu\text{m}$ に限られないが、凸部 1 2 a の幅を溝部 1 2 b の幅よりも小さくする方が好ましい。このようにすると、凸部 1 2 a の頂面の種結晶から積層体 3 0 に伝播する転位の影響を低減でき、転位によるレーザ素子の動作特性の劣化を防止できるので、該レーザ素子の信頼性を向上することができる。

【0237】また、シード層 1 2 の上部の拡大溝部 1 2 d の形成周期も共振器長に合わせて適当な値に設定すればよい。

【0238】第 5 の実施形態においては、凸部 1 2 a のストライプ方向として積層体 3 0 の M 軸方向を選び、その自然形成された A 面を共振器端面 3 2 としたが、代わりに、凸部 1 2 a のストライプ方向として積層体 3 0 の M 軸と直交する A 軸方向を選ぶと、M 面が自然形成され

る。従って、A軸方向に延びるストライプ状の凸部 12 a を形成することにより、自然形成されたM面を共振器端面 3 2 に持ち、しきい値電流を大きく低減でき且つ信頼性が向上する半導体レーザ素子を得ることができる。

【0239】（第5の実施形態の第1変形例）以下、本発明の第5の実施形態の第1変形例について図面を参照しながら説明する。

【0240】図24は第5の実施形態の第1変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体のM面における断面構成、すなわち基板のA面における断面構成を示している。図24においては、図22に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付している。

【0241】図24に示すように、第1変形例に係る半導体レーザ素子は、積層体30の共振器端面32を自然形成する拡大溝部12dの内側に隣接する溝部をも断面幅が20μm程度に拡大された拡大溝部12dを有している。これにより、積層体30の共振器端面側の両端部に、それぞれの対向面がA面からなる側面空隙部30aが形成されている。

【0242】このように、共振器端面32に、屈折率が1である側面空隙部30aと、屈折率が約2.6の窒化ガリウム系半導体からなる積層体30とを組み合わせることにより、高屈折率差を実現できるため、共振器端面32におけるレーザ光の反射率を誘電体膜等によりコーティングする場合と比べて大きくすることができる。

【0243】共振器端面32におけるレーザ光の反射率を高めるには、側面空隙部30aによって積層体30から孤立する孤立体の出射方向の幅寸法が、 $\lambda / (4n)$ の整数倍であることが好ましい。ここで、 λ は光の波長であり、 n は孤立体の屈折率である。

【0244】なお、側面空隙部30aを積層体30の両端部に設けたが、反射率を高めて出射光の出力値を増大させるために、積層体30のいずれか一方の端部にのみ側面空隙部30aを設けてもよい。

【0245】本変形例によると、レーザ光の発振しきい値電流は、側面空隙部30aを設けない場合と比べて、約20%も低減され、側面空隙部30aの効果は極めて大きい。なお、側面空隙部30aは積層体30中に3つ以上設けてもよい。

【0246】（第5の実施形態の第2変形例）図25は、第5の実施形態に係る第2変形例であって、シード層12の上部に設けるストライプ状の溝部をすべて拡大溝部12dとしている。

【0247】このようにすると、複数の積層体30のそれぞれは、基板11上においてすべてが孤立体となる。従って、所望の共振器長を持つ共振器が形成されるように複数の孤立体からなる共振器を形成し、形成した共振器の端面と対応する位置の側面空隙部30aにおいて基板11を分割することにより、複数の孤立体を含む1つの半導体レーザ素子を形成できる。

【0248】これにより、第2変形例に係る半導体レーザ素子は、レーザ光のミラー損失の要因となる凹凸がなく極めて平坦なA面を持ち、且つ、該レーザ素子に孤立体を含める個数を変えることにより、共振器長を容易に変更することができる。

【0249】さらには、各拡大溝部12dごとに基板11を分割することにより、凸部12aの1つ分からなり、共振器長が約15μmのレーザ素子を得ることも可能となる。従来のように基板と積層体とを同時にへき開する方法では、共振器端面の平坦性を維持しながら、このような微小な共振器を形成することは極めて困難である。

【0250】（第5の実施形態の第3変形例）以下、第3変形例として、選択成長層の上部にストライプ状の凸部をさらに設けて、積層体30から結晶転位を完全になくしてしまうことにより、半導体レーザ素子の信頼性をより向上できる方法を説明する。

【0251】図26に示すように、上部に凸部12a及び溝部12bが設けられ、該溝部12bの底面及び壁面に第1のマスキング膜13Aが形成されたシード層12aの上には、選択成長シード層34がELO成長により一体に形成されている。

【0252】選択成長シード層34の上には、シード層12の凸部12a及び溝部12bと同等の周期を持つ、凸部34a及び溝部34bが設けられており、該溝部34bの底面及び壁面には第2のマスキング膜13Bが形成されている。

【0253】ここで、凸部34aは、選択成長シード層34における低転位密度領域及び接合部を避けるように、溝部12bの上方に形成されている。

【0254】このように、第3変形例によると、選択成長シード層34の上部に設けられた凸部34aの頂面であるC面を種結晶として選択成長層14が成長している。この凸部34aの頂面には、シード層12における凸部12aの頂面の種結晶からの転位や、選択成長シード層34の接合部に起因する欠陥等が含まれない高品位の結晶面が現われている。その結果、高品位の選択成長層14の上に形成される積層体30は欠陥フリーとなり、結晶欠陥に起因したレーザ光の散乱による損失及びキャリアの非発光過程による信頼性の低下等を防止でき、極めて高品質な窒化ガリウム系半導体レーザ素子を実現できる。

【0255】（第6の実施形態）以下、本発明の第6の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0256】図27は本発明の第6の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子であって、積層体のA面における断面構成、すなわち基板のM面における断面構成を示している。図27において、図14に示す第3の実施形態に係るレーザ素子の構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0257】第3の実施形態との構成上の相違点のみを説明する。

【0258】図27に示すように、サファイアからなる基板11上には、第1のシード層12A及び第2のシード層12Bが設けられている。

【0259】第1のシード層12Aの上部には、ストライプ状の凸部12a及び溝部12bが基板11のM面に対して平行に、すなわち、積層体30のA面に対して平行に設けられている。同様に、第2のシード層12Bの上部には、ストライプ状の凸部12a及び溝部12bが、第1のシード層12Aの凸部12a及び溝部12bと平行で且つ基板面に垂直な方向で重ならないように設けられている。

【0260】以下、前記のように構成された半導体レーザ素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0261】図28(a)、図28(b)～図31は本発明の第6の実施形態に係る半導体レーザ素子の製造方法であって、基板のA面における工程順の断面構成を示している。

【0262】まず、図28(a)に示すように、MOVPE法により、C面を主面とする基板11上に、基板温度を約530℃に設定し、例えば圧力が約300 Torrの水素と窒素との混合雰囲気として、III族源のTMGと、窒素源のNH₃とを供給して、GaNからなる低温バッファ層を堆積する(図示せず)。続いて、基板温度を約970℃にまで昇温した後、TMG、NH₃及びSiH₄を基板11上に供給することにより、膜厚が0.5μm～1μm程度のn型GaNからなる第1のシード層12Aを成長する。このとき、第1のシード層の主面はC面となっており、転位密度は10⁹ cm⁻²台である。

【0263】次に、図28(b)に示すように、第1のシード層12A上にレジスト膜を塗布した後、塗布したレジスト膜をフォトリソグラフィ法により、ストライプ方向が第1のシード層12AのM軸方向と一致するパターンニングを行なって、レジストパターン40を形成する。続いて、レジストパターン40をマスクとして、第1のシード層12Aに対してドライエッチングを行なうことにより、第1のシード層12Aの上部に、断面幅が約3μm～6μmの凸部12aと断面幅が約12μm～24μmの溝部12bとを一周期とする周期構造体を形成する。このとき、溝部12bの深さ寸法を50nm～1μm程度としている。

【0264】次に、図29(a)に示すように、ECRスパッタ法を用いて、第1のシード層12Aにおける溝部12bの底面及び壁面とレジストパターン40上に、窒化シリコンからなるマスク膜13を堆積する。ここでも、シリコンの原料には、固体シリコンを用い、反応性ガスには窒素を用い、プラズマガスにはアルゴンを用い

ている。

【0265】次に、図29(b)に示すように、レジストパターン40に対してリフトオフを行なって、レジストパターン40及びその上のマスク膜13を除去する。

なお、マスク膜13は、溝部12bの壁面の全面を覆っていても良く、壁面の一部を覆っていても良い。

【0266】次に、図30(a)に示すように、再度MOVPE法を用いて、例えば圧力が約100 Torrの水素と窒素との混合雰囲気とし、基板温度を約1000℃にまで昇温した後、TMG、NH₃及びSiH₄を第1のシード層12Aの上部に供給することにより、第1のシード層12Aのマスク膜13から露出した領域を種結晶として、n型GaNからなる第2のシード層12Bを成長する。このとき、第2のシード層12Bは、各凸部12aの頂面から上方に成長すると共に、基板面に平行な方向にも成長して、隣接する溝部12bの両側から成長してきた結晶同士との互いに対向する側面が溝部12bのほぼ中央部で接合して接合部12eを形成する。これにより、複数の凸部12aの頂面から成長する各結晶は一体化されて、上面がC面からなる第2のシード層12Bが形成される。また、このとき、第1のシード層12Aにおける各溝部12bの底面及び壁面と第2のシード層12Bの下面とにより囲まれてなる複数の空隙部12cが形成される。このときの、第2のシード層12Bの膜厚は、溝部12bの幅寸法等に依存するが、約2μm～6μmである。

【0267】第2のシード層12Bにおける接合部12eを除く選択成長領域では、転位密度が約1×10⁶ cm⁻²程度の貫通転位が観測されるのに対し、接合部12eでは、C面内に平行な転位密度が約4×10⁷ cm⁻²の結晶転位が観測される。

【0268】また、第2のシード層12Bにおける凸部12aの上側部分のC軸と空隙部12c上の領域のC軸とのチルト角は0.01度～0.03度である。

【0269】このように、本実施形態に係るELO成長法が従来のELO成長と比較してチルト角が極めて小さくなるのは、ELO成長した結晶層である第2のシード層12Bが第1のシード層12Aと接触しておらず、マスク膜13との界面で従来のようなストレスが発生しないからである。

【0270】なお、接合部12eの下部に、空隙部12c側に開口する逆V字状のボイドが現われる。

【0271】さらに、本実施形態においては、第2のシード層12Bの選択成長を行なう際に、溝部12bの底面上に多結晶が析出したとしても、第1のシード層12Aの上部に設けた凸部12a及び溝部12bにより形成される段差によって多結晶が第2のシード層12Bと接触しないため、レーザ構造を含む積層体30の結晶品質に悪影響を及ぼすことはない。その結果、積層体30から形成されるレーザ素子の動作特性のばらつきを低

減でき、歩留まりを向上させることができる。

【0272】次に、図30(b)に示すように、成長した第2のシード層12Bの上部に、凸部12a及び溝部12bを一周期とする周期構造体を、第1のシード層12Aと同様の方法で形成する。このとき、第2のシード層12Bの凸部12aを、その頂面の位置が第2のシード層12Bの低転位密度領域の上に位置するように形成することが好ましい。すなわち、第2のシード層12Bの凸部12aの頂面の位置が、第1のシード層12Aの凸部12aの頂面の位置と基板面方向に異なり且つ接合部12eの側方の領域に形成する。

【0273】これにより、第2のシード層12Bにおける、第1のシード層12Aの空隙部12c上に位置する低転位密度領域を種結晶として、2回目のELO成長を行なえるようになる。なお、窒化ガリウム系結晶は可視光にとって透明であるため、光学顕微鏡により凸部12aと溝部12bとを容易に識別することができ、フォトリソグラフィ法によるストライプ状パターンを持つ凸部12aの位置決めを行なう際に、専用のアライメントパターンを用いる必要はない。

【0274】次に、図31に示すように、MOVPE法を用いて、例えば、圧力が約100 Torrの水素と窒素との混合雰囲気とし、基板温度を約1000℃として、第2のシード層12Bの上に、マスク膜13から露出する凸部12aの頂面に現われたC面を種結晶として、n型AlGaInからなり主面がC面からなる選択成長層14Aを一体化されるまで成長させる。これにより、選択成長層14Aは周期的に形成される接合部14aを除くすべての領域で転位密度が約 $1 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ と小さくなる。

【0275】続いて、圧力が約300 Torrの水素と窒素との混合雰囲気とし、基板温度を約970℃として、一体化された選択成長層14Aの上に、n型超格子クラッド層16A、n型光ガイド層17、MQW活性層18、p型光ガイド層19、p型クラッド層20及びp型コンタクト層21を順次成長して積層体30を形成する。ここで、MQW活性層18は発振波長が400nm帯となるレーザ発振を得るために、例えば、厚さが約4nmのGa_{0.95}In_{0.05}Nからなる井戸層と厚さが約6nmのGaInからなるバリア層とにより構成している。

【0276】その後、図27に示すように、ドライエッチング法により、p型クラッド層20の上部及びp型コンタクト層21に対して、MQW活性層18に選択的に電流を注入する、幅が2μm～5μmのリッジ部31を積層体30のA軸方向、すなわち凸部12aのストライプ方向と直交する方向に形成する。

【0277】続いて、積層体30におけるリッジ部31を含まない領域に対してドライエッチングを行なって、n型超格子クラッド層16Aを露出した後、積層体30の露出面に絶縁膜22を堆積する。続いて、絶縁膜22

における、リッジ部31の上側の領域及びn型超格子クラッド層16Aの上側の領域にそれぞれ開口部を設けた後、蒸着法又はスパッタ法等により、リッジ部31における絶縁膜22の開口部からの露出領域上及びリッジ部31の周辺部上にp側電極23を形成し、また、n型超格子クラッド層16Aの絶縁膜22からの露出領域上にn側電極24を形成する。

【0278】次に、積層体30のA面、すなわちサファイアからなる基板11のM面でへき開することによって共振器端面を形成する。サファイアのM面はへき開が容易であり、半導体レーザ素子のへき開の歩留まりを良好に維持できる。なお、基板11と積層体30との間には、へき開面と平行にのびる複数が且つ2段構成の空隙部12cが存在するが、これらの空隙部12cによってへき開の歩留まりが低下することはない。

【0279】次に、へき開した両端面に適当な反射率を得られるように誘電体等によりコーティングを施し、チップ状に分離して図27に示す半導体レーザ素子を実現できる。

【0280】第6の実施形態に係る半導体レーザ素子は、MQW活性層18を含む積層体30のA軸方向に形成された共振器と、選択成長により形成されるM軸方向に延びるストライプ状の空隙部12cとが直交するように設けられていることを特徴とする。

【0281】但し、このようにすると、図31から分かるように、MQW活性層18のリッジ部31の長軸方向である電流注入領域は、各半導体層の接合部14aを横切ることになる。その結果、接合部14aに集中する転位がレーザ素子の動作に影響を与える虞がある。ところが、MQW活性層18の層内の転位を観測すると、貫通転位は接合部14aと無関係に面内で均一に約 $1 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ の密度で存在することを確認している。従って、電流注入領域が接合部14aを横切ることは半導体レーザ素子の信頼性に悪影響を与えることはない。

【0282】また、種結晶である第2のシード層12Bと選択成長層14Aとの間でC軸にチルトが存在すると、A軸方向に形成された共振器の場合は、基板面に対して垂直な方向にうねるジグザグ導波路となって導波損失を招く。その結果、レーザ素子の動作電流が増加する虞がある。たしかに、図38に示すような従来のELO成長法を用いて製造したレーザ素子ではチルト角が0.1度以上もあり、例えば空隙部12cの幅が12ミクロンとすれば、高低差が10nm以上のジグザグ導波路となるため、レーザ素子の動作電流が増加する。

【0283】一方、チルト角が0.05度以下であると、高低差は5nm程度に抑えられるため、ジグザグ導波路の影響をほとんど無視できる。本実施形態においては、明のレーザ素子では空隙部12cを形成しながら成長するラテラル成長により、チルト角を0.03度以下に抑えることができるので、ジグザグ導波路の発生を防

止できる。

【0284】また、選択成長層14Aにおけるラテラル成長した領域において、一様なステップフロー成長を観察している。このような平坦な表面上にMQW活性層18を成長すると、インジウムの局所的な偏析が起こらず、均質なMQW活性層18を得られるので、動作電流の低減を図ることができる。

【0285】また、本実施形態に係る半導体レーザ素子における基板面に垂直な方向の遠視野像は図16に示すグラフと同等であって、単峰性で良好な光強度分布を得られている。

【0286】これは、第3の実施形態と同様に、第2のシード層12Bの各凸部12aの頂面から成長して一体化された選択成長層14Aにn型AlGaInを用いる共に、n型AlGaInとn型GaInを含む超格子構造を持つn型超格子クラッド層16Aがn型コンタクト層を兼ねている。これにより、MQW活性層18の光の閉じ込め係数値が大きく向上するからである。

【0287】前述したように、選択成長層14Aのアルミニウムの組成は、2%以上、好ましくは4%以上とすると、光の基板11側への漏れを確実に防止することができる。

【0288】なお、本実施形態においては、第1及び第2のシード層12A、12BにGaInを用いたが、一般式Al_xGa_yIn_{1-x-y}N（但し、u、v、wは、0 ≤ u、v、w ≤ 1、u + v + w = 1である。）からなる窒化ガリウム系混晶、特にAlGaInN又はGaAlInN等を用いると良く、混晶の組成に応じてラテラル成長に最適な成長条件を選べばよい。

【0289】また、第1のシード層12Aは、低温バッファ層を介して形成したが、第1のシード層に単結晶が得られる方法を用いれば良い。

【0290】また、基板11にサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素、ネオジムガレート（NGO）又は窒化ガリウム等を用いてもよい。但し、炭化ケイ素を基板11に用いると、積層体30に引っ張り歪み加わり、クラックが発生しやすいため、溝部12bの断面幅をできるだけ小さくすることにより、第2のシード層12Bが一体化されたときの膜厚が2 μm未満となるようにすることが望ましい。このようにすると、2回の選択成長及び積層体30の成長を行なった後でも積層体30にクラックが生じない。

【0291】このため、基板11の材料に無関係に3回以上の選択成長は無意味であり、さらには、歪みに起因する新たな不具合を生じるので好ましくない。

【0292】また、第1及び第2のシード層12A、12Bの各上部の凸部12aを形成する際にリフトオフ法を用いたが、凸部12a及び溝部12bが形成でき、該溝部12bの少なくとも底面にマスク膜13が残る方法であれば、他の方法を用いてもよい。すなわち、凸部1

2aにおけるマスク13により覆われていない領域のうち、C面を種結晶として、空隙部12cが形成される方法であれば良い。

【0293】また、マスク膜13は、窒化シリコンに限らず、第1の実施形態及びその第1変形例に示した誘電体、非晶質の絶縁体、高融点金属又は高融点金属化合物を用いることが好ましい。なお、誘電体膜の堆積にはECRスパッタ法を用いることにより、低温で良質のマスク膜13を得ることができる。

【0294】また、本実施形態に係る低転位密度領域を有する窒化物半導体層を用いることにより、発光素子に限らず、電子素子等の他の半導体素子を形成しても良い。これにより、該半導体素子の高信頼性と高歩留まりを実現できる。

【0295】（第7の実施形態）以下、本発明の第7の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0296】図32は本発明の第7の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の断面構成を示している。図32において、図1に示す構成部材と同一の構成部材には同一の符号を付すことにより説明を省略する。

【0297】図32に示すように、第7の実施形態に係る半導体レーザ素子は、シード層12の上部に設けられたELO成長用の種結晶となり且つ第1の形成周期を持つストライプ状の凸部12aと、積層体30の上部に設けられ、電流注入用の1つのリッジ部31A及び該リッジ部31Aの位置合わせ用の複数のダミーリッジ部31Bとを有している。これらリッジ部31A及びダミーリッジ部31Bは、凸部12aと同一の方向に延び、且つ、第1の形成周期と異なる第2の形成周期を持つように形成されている。

【0298】以下、前記のように構成された半導体レーザ素子の製造方法について図面を参照しながら説明する。

【0299】図33～図35は本発明の第7の実施形態に係る半導体レーザ素子の製造方法の工程順の断面構成を示している。

【0300】まず、図33に示すように、MOVPE法を用いて、第1の実施形態と同様に、第1のサファイアからなる基板11上にGaInからなるシード層12を成長し、レジスト膜を用いたフォトリソグラフィ法及びドライエッチング法により、成長したシード層12の上部に、リッジストライプ状の凸部12aを形成する。ここでは、一例として、凸部12aの断面幅を約4 μmとし、溝部12bの断面幅を約12 μmとして、第1の形成周期を16 μmとしている。

【0301】次に、ECRスパッタ法を用いて、凸部12aが形成されたシード層12の上に全面にわたって、窒化シリコンからなるマスク膜13を堆積し、続いて、レジスト膜をリフトオフすることにより、凸部12aの少なくとも頂面をマスク膜13から露出する。ここで、

いて上方から観察する際に、積層体30における低転位密度領域を特定できなくてはならない。本実施形態においては、図32に示すように、空隙部12cによって、観察光の屈折率差が大きくなるため、凸部12a（高転位密度領域）の位置が明確となるので、凸部12aと接合部14aとの間に位置する電流注入用のリッジ部31Aの候補となるリッジ部31を容易に且つ確実に区別できるようになる。その結果、フォトリソグラフィ工程におけるマスクの位置合わせが容易となり、フォトリソグラフィ工程のスループットを向上できる。

【0318】なお、本実施形態においては、凸部12aの第1の形成周期と、リッジ部31の第2の形成周期とをいずれも一定の周期としたが、必ずしも一定である必要はなく、各形成周期が互いにずれるような構成であればよい。例えば、各形成周期が等差級数を満足するような数列群を構成していてもよい。

【0319】また、絶縁膜35に窒化アルミニウムを用い、絶縁膜22に窒化シリコンを用いたが、絶縁膜22のエッチングの際に、絶縁膜35に対してエッチング選択比が十分に大きければ良く、これらの代わりに、例えば、絶縁膜35が酸化シリコンで且つ絶縁膜22が窒化シリコンであっても良い。また、絶縁膜22に対するエッチングはウエットエッチングでもドライエッチングでもよい。

【0320】また、基板11にサファイアを用いたが、サファイアに代えて、例えば炭化ケイ素、ネオジウムガレート（NGO）又は窒化ガリウム等を用いてもよい。

【0321】また、マスク膜13には、ECRスパッタ法による窒化シリコンや酸化シリコン等の誘電体を用いても良く、さらに好ましくは、タングステン等の高融点金属やそのシリサイド化物を用いると良い。

【0322】また、シード層12の上部の凸部12aを形成する際にリフトオフ法を用いたが、凸部12a及び溝部12bが形成できる方法であればよい。

【0323】また、本実施形態に係る、互いに周期が異なる2種類の周期構造体を用いる方法は、従来のELO成長法等にも適用できる。

【0324】

【発明の効果】本発明の窒化物半導体の製造方法によると、ELO成長する選択成長層が、ELO成長時のマスク膜の上に析出する多結晶体の影響を受けなくなるため、選択成長層及びその上に成長する積層体の結晶の品位が向上する。従って、本発明の窒化物半導体を用いた窒化物半導体素子の動作特性及び信頼性を向上できる。

【0325】また、マスク膜の上に析出する多結晶体の影響を受けなくなるための凸部同士の間を壁面とする空隙部により、光閉じ込め係数値を向上できる。

【0326】また、空隙部を設けることにより、共振器端面を自然形成でき、該共振器端面をへき開面としなくても済み、また、選択成長層の結晶成長軸のチルトを低

減でき、マスクの位置合わせをも容易に行なえるようになる。

”【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図2】（a）及び（b）は本発明の第1の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図3】（a）及び（b）は本発明の第1の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図4】本発明の第1の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図5】本発明の第1の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法の特徴を示す模式的な断面図である。

【図6】（a）～（d）は本発明の第1の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法の特徴を段階的に示す模式的な断面図である。

【図7】本発明の第1の実施形態の第1変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の選択成長層の室温におけるフォトルミネッセンスを、第1の実施形態と比較した結果を示すグラフである。

【図8】本発明の第1の実施形態の第2変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図9】本発明の第2の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図10】（a）及び（b）は本発明の第2の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図11】本発明の第2の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図12】本発明の第2の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図13】本発明の第2の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子から出射されるレーザ光の共振器端面に平行な方向における遠視野像を示すグラフである。

【図14】本発明の第3の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図15】本発明の第3の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子のリッジ部における基板と垂直な方向の屈折率分布と、共振器端面の光強度分布との関係を示すグラフである。

【図16】本発明の第3の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子から出射されるレーザ光の共振器端面に平行な方向における遠視野像を示すグラフである。

【図 17】本発明の第 3 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体 30 を形成する前の選択成長層の光学顕微鏡による平面写真と、それと対応する構成断面図である。

【図 18】本発明の第 4 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示す構成断面図である。

【図 19】(a) は本発明の第 4 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法における選択成長機構を模式的に表わした断面構成図である。(b) は第 2 の従来例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法における選択成長機構を模式的に表わした断面構成図である。

【図 20】(a) は本発明の第 4 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法において選択成長層を 2 段階で形成する効果を示す部分的な斜視図である。(b) は比較用であって、窒化ガリウム系半導体レーザ素子の選択成長層の側面にうねりが生じる様子を示す部分的な斜視図である。

【図 21】(a) ~ (d) は本発明の第 4 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法の特徴を段階的に示す模式的な断面図である。

【図 22】本発明の第 5 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体の M 面、すなわち基板の A 面における構成断面図である。

【図 23】本発明の第 5 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示し、図 22 の XXIII-XXIII 線における構成断面図である。

【図 24】本発明の第 5 の実施形態の第 1 変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体の M 面、すなわち基板の A 面における構成断面図である。

【図 25】本発明の第 5 の実施形態の第 2 変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体の M 面、すなわち基板の A 面における構成断面図である。

【図 26】本発明の第 5 の実施形態の第 3 変形例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体の M 面、すなわち基板の A 面における構成断面図である。

【図 27】本発明の第 6 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子における積層体の A 面、すなわち基板の M 面における構成断面図である。

【図 28】(a) 及び (b) は本発明の第 6 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 29】(a) 及び (b) は本発明の第 6 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 30】(a) 及び (b) は本発明の第 6 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 31】本発明の第 6 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面

図である。

【図 32】本発明の第 7 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の構成断面図である。

【図 33】本発明の第 7 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 34】本発明の第 7 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 35】本発明の第 7 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示す工程順の構成断面図である。

【図 36】(a) 及び (b) は本発明の第 7 の実施形態に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法を示し、(a) は電流注入用を使用が適当なリッジ部と不適当なリッジ部とを示す断面図であり、(b) はリッジ部ごとに識別用の目印を周期的に付した様子を示す断面図である。

【図 37】第 1 の従来例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の構成断面図である。

【図 38】第 2 の従来例に係る ELOG 法によって形成された窒化ガリウムの結晶転位の

【図 39】第 2 の従来例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の構成断面図である。分布を模式的に表わした構成断面図である。

【図 40】(a) ~ (d) は第 2 の従来例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の製造方法における結晶成長の様子を段階的に示す模式的な断面図である。

【図 41】第 1 の従来例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子のリッジ部における基板と垂直な方向の屈折率分布と、共振器端面の光強度分布との関係を示すグラフである。

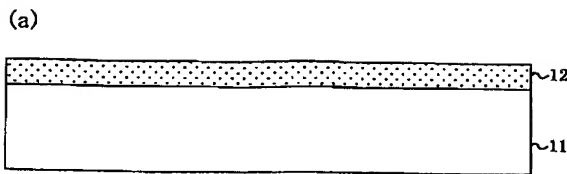
【図 42】第 1 の従来例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子の遠視野像を示している。

【図 43】第 1 の従来例に係る窒化ガリウム系レーザ素子における基板と共振器のへき開端面を示す模式的な斜視図である。

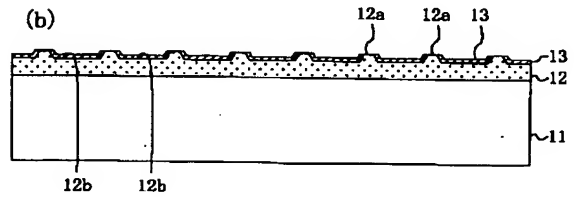
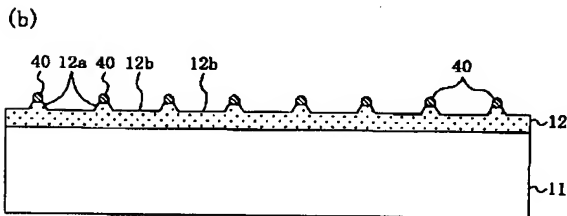
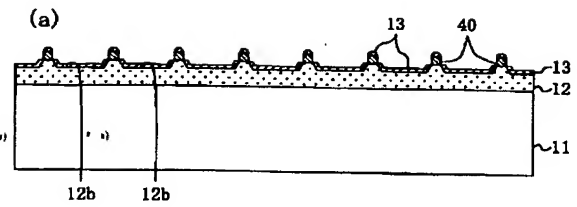
【符号の説明】

1 1	基板
1 1 A	基板
1 1 a	凸部
1 1 b	溝部
1 2	シード層
1 2 a	凸部
1 2 b	凹部 (溝部)
1 2 c	空隙部
1 3	マスク膜
1 4	選択成長層
1 4 a	接合部
1 4 b	高転位密度領域

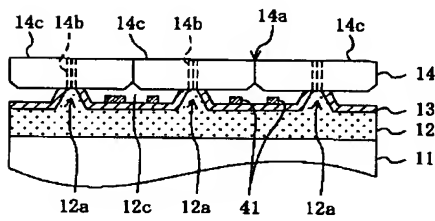
【図 2】



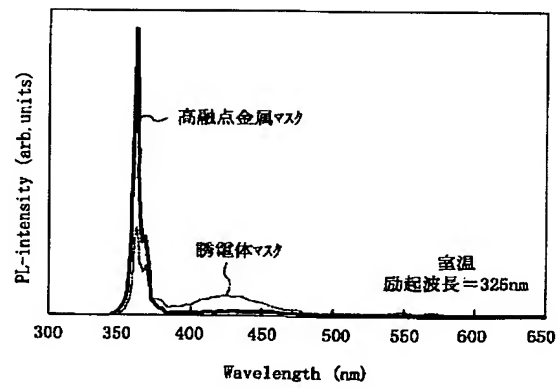
【図 3】



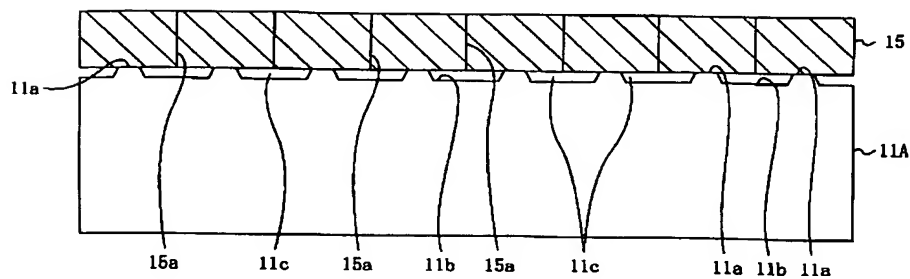
【図 5】



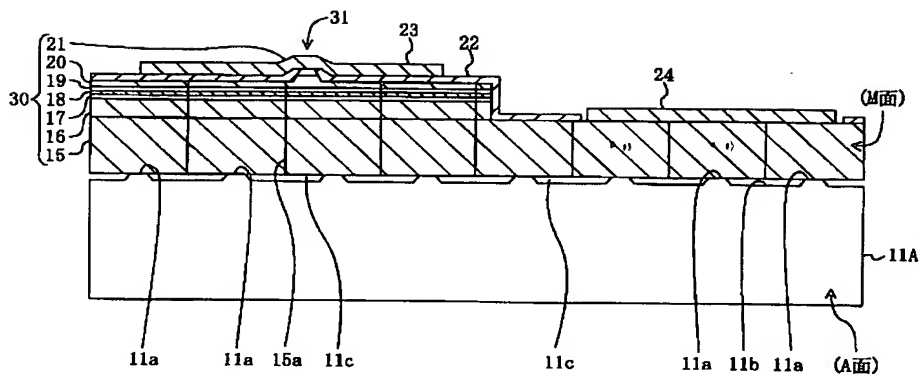
【図 7】



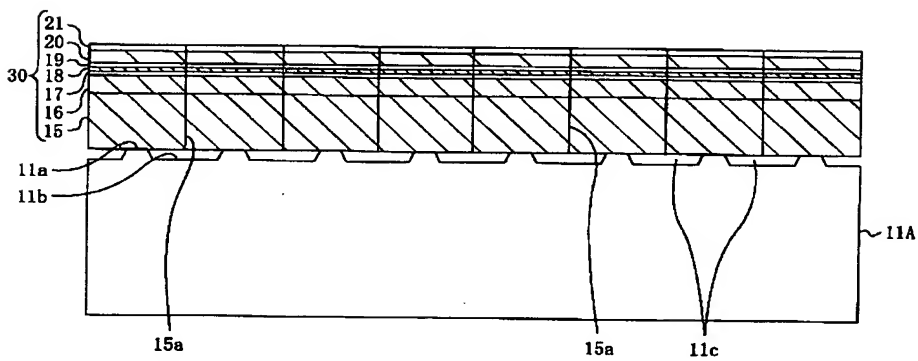
【図 11】



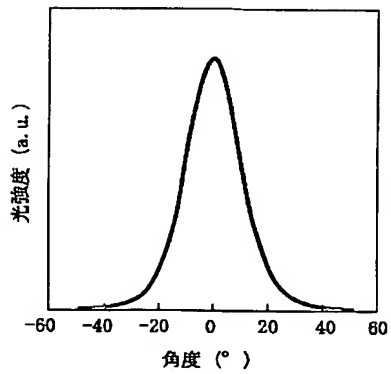
【図 9】



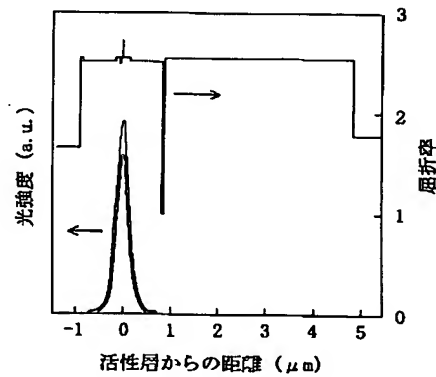
【図 12】



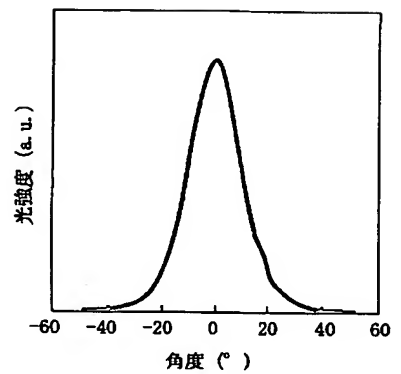
【図 13】



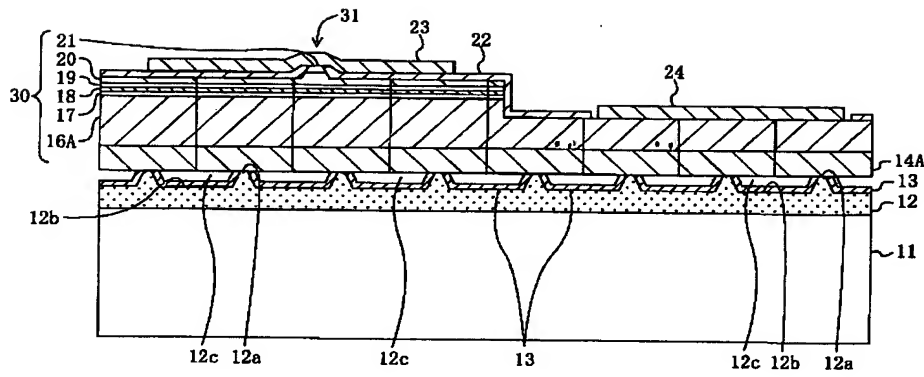
【図 15】



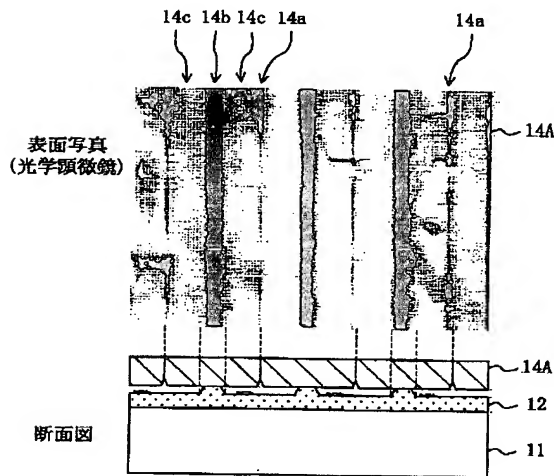
【図 16】



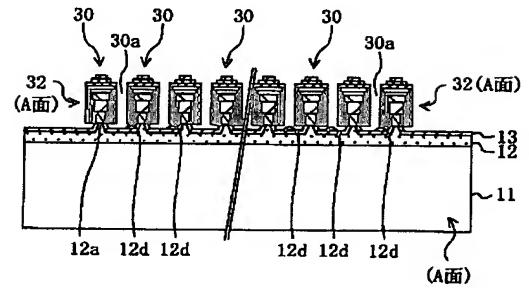
【図 14】



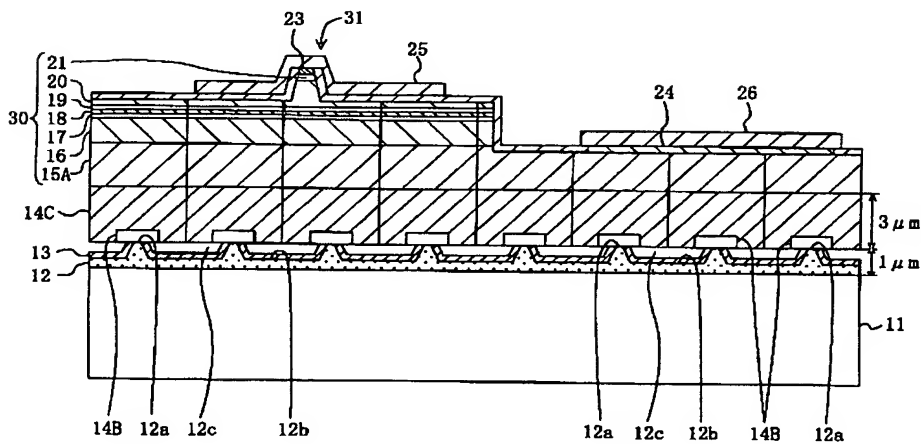
【図 17】



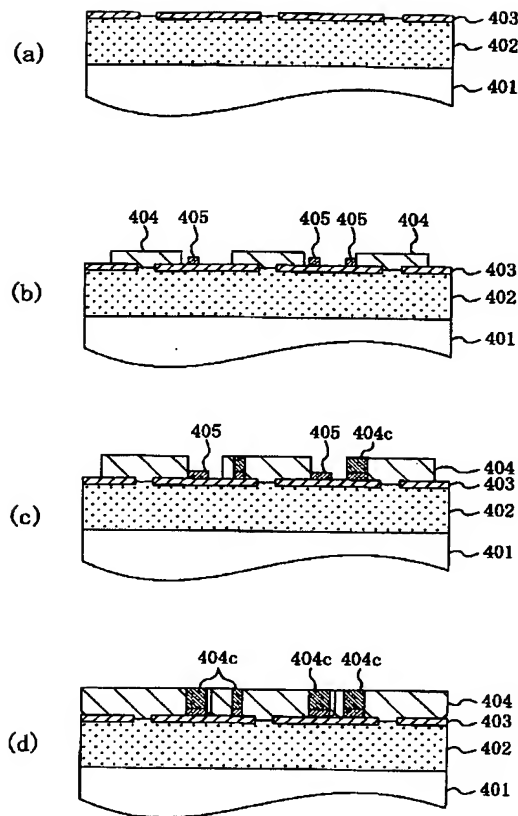
【図 25】



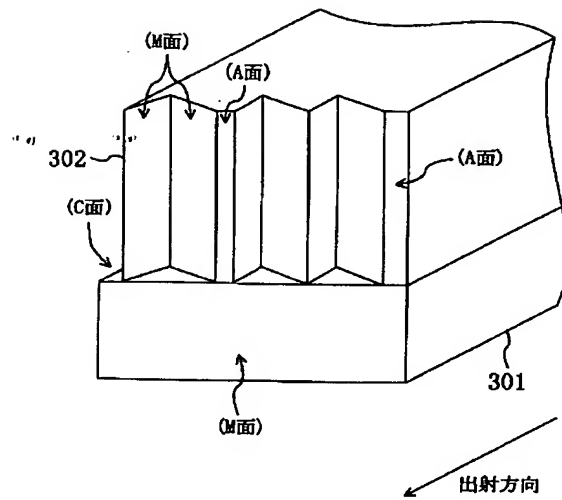
【図 18】



【図 40】



【図 43】



フロントページの続き

(31) 優先権主張番号 特願2000-18407 (P2000-18407)
 (32) 優先日 平成12年1月27日 (2000. 1. 27)
 (33) 優先権主張国 日本 (JP)
 (31) 優先権主張番号 特願2000-25931 (P2000-25931)
 (32) 優先日 平成12年2月3日 (2000. 2. 3)
 (33) 優先権主張国 日本 (JP)
 (31) 優先権主張番号 特願2000-48824 (P2000-48824)
 (32) 優先日 平成12年2月25日 (2000. 2. 25)
 (33) 優先権主張国 日本 (JP)
 (31) 優先権主張番号 特願2000-120760 (P2000-120760)
 (32) 優先日 平成12年4月21日 (2000. 4. 21)
 (33) 優先権主張国 日本 (JP)
 (31) 優先権主張番号 特願2000-120761 (P2000-120761)
 (32) 優先日 平成12年4月21日 (2000. 4. 21)
 (33) 優先権主張国 日本 (JP)
 (72) 発明者 菅原 岳
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
 産業株式会社内

(72) 発明者 辻村 歩
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
 産業株式会社内
 (72) 発明者 伴 雄三郎
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
 産業株式会社内
 (72) 発明者 鈴木 政勝
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
 産業株式会社内
 (72) 発明者 桑 雅博
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
 産業株式会社内
 (72) 発明者 宮永 良子
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
 産業株式会社内
 (72) 発明者 森田 清之
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
 産業株式会社内

